

OTDK-DOLGOZAT

LTE 800 MHz és LTE 1800 MHz-en történő működés összehasonlítása

Írta

Fafula László

Konzulense

Vári Péter

Széchenyi István Egyetem

Műszaki Tudományi Kar

Távközlési Tanszék

2014

Tartalom

I.	Bevezetés.....	- 3 -
1.1	Célkitűzés	- 3 -
1.2	Technológiák fejlődése.....	- 4 -
II.	LEGÚJABB 3GPP RENDSZER.....	- 7 -
2.1	Long Term Evolution	- 7 -
2.1.1	Az LTE adottságai és képességei	- 8 -
2.1.2	Az LTE teljesítménye.....	- 9 -
2.1.3	A rendszer bevezetése, spektrumkiosztás.....	- 10 -
2.1.4	Továbbfejlesztett maghálózat az LTE számára	- 11 -
2.2	EUTRAN.....	- 12 -
III.	LTE Átviteli módok	- 14 -
3.1	Downlink átvitel: OFDMA.....	- 14 -
3.2	Ciklikus prefix.....	- 15 -
3.3	Az LTE kódolása.....	- 16 -
3.4	OFDM előnyei és hátrányai.....	- 16 -
3.5	Uplink átvitel: SC-FDMA	- 17 -
3.6	Rétegek és Protokollok.....	- 18 -
3.7	Többantennás rendszerek	- 19 -
3.7.1	Diverziti.....	- 19 -
3.7.2	Nyalábformálás.....	- 19 -
3.7.3	MIMO.....	- 19 -
3.8	Erőforráskészlet a fizikai rétegben	- 20 -
3.9	Physical Resource Block	- 21 -
3.10	Csatornák.....	- 22 -
3.10.1	Fizikai csatornák.....	- 22 -
3.10.2	Transzport csatornák	- 24 -
3.10.3	Logikai csatornák	- 25 -
IV.	Cellatervezés	- 27 -
4.1.	Cella méretek.....	- 27 -
4.1.1	Makrocella.....	- 28 -
4.1.2	Mikrocella	- 28 -
4.1.3	Pikocella	- 28 -

4.1.4 Femtocella	- 28 -
4.2 Cellák frekvencia függése	- 28 -
COST-231 Hata	- 30 -
4.3 Interferencia kezelés.....	- 31 -
IV. Drive tesztek és a mérések értékelése.....	- 32 -
5.1 QualiPoc	- 33 -
5.2 TSMW	- 35 -
5.3 Drive teszt kiértékelése.....	- 36 -
5.3.1 Adatok szűrése	- 36 -
5.3.2 MapInfo Professional	- 37 -
5.4 LTE 800 MHz és UMTS 900 MHz drive teszt	- 39 -
5.5 LTE 800 MHz és LTE 1800 MHz drive test	- 40 -
5.6 Adatsebességek alakulása.....	- 41 -
VI. Irodalom Jegyzék	- 43 -
VII. Ábra-, Táblázatjegyzék.....	- 45 -

I. Bevezetés

Az első GSM (Global System for Mobil Communication) hívást 1991-ben indították Finnországban. Az évek során dinamikusan növekedett az előfizetők száma. Egyes becslések szerint 2015-re a mobil-előfizetések száma meghaladja majd a Föld lakosainak számát. Ez idő alatt folyamatos fejlődés mutatkozott a telekommunikációs rendszerekben és a mobil technológiákban egyaránt. A GSM rendszert továbbfejlesztve érkeztek meg a 3G-s (Harmadik Generáció) hálózatok, melyek a beszéd alapú szolgáltatásokon túl a web alapú szolgáltatások elérését is biztosították a felhasználók számára.

Az felhasználók igényeinek folyamatos növekedése, illetve az okostelefonok megjelenése sürgette az új generációs mobil hálózat létrejöttét. 2009-ben Svédországban indították el az első nyilvános LTE (Long Term Evolution) szolgáltatást, amikor is bemutatkozott a 4G. LTE szolgáltatást Magyarországon elsőként a T-Mobile vezetett be 2012-ben. A 4G-s technológia legnagyobb előnye az, hogy az otthoni vezetékes internetkapcsolattal azonos minőségű internetet útközben is elérhetővé teszi. Mielőtt azonban a 4G-ről beszélnék, nézzük át a múlt meghatározó mobiltechnológiáit!

1.1 Célkitűzés

Diplomatervem készítésekor az alábbi feladatokat tűztem ki:

- A LTE Bemutatása
- A magyar mobil szolgáltatók LTE megoldásainak bemutatása
- LTE 800, LTE 1800 drive tesztek bemutatása

1.2 Technológiák fejlődése

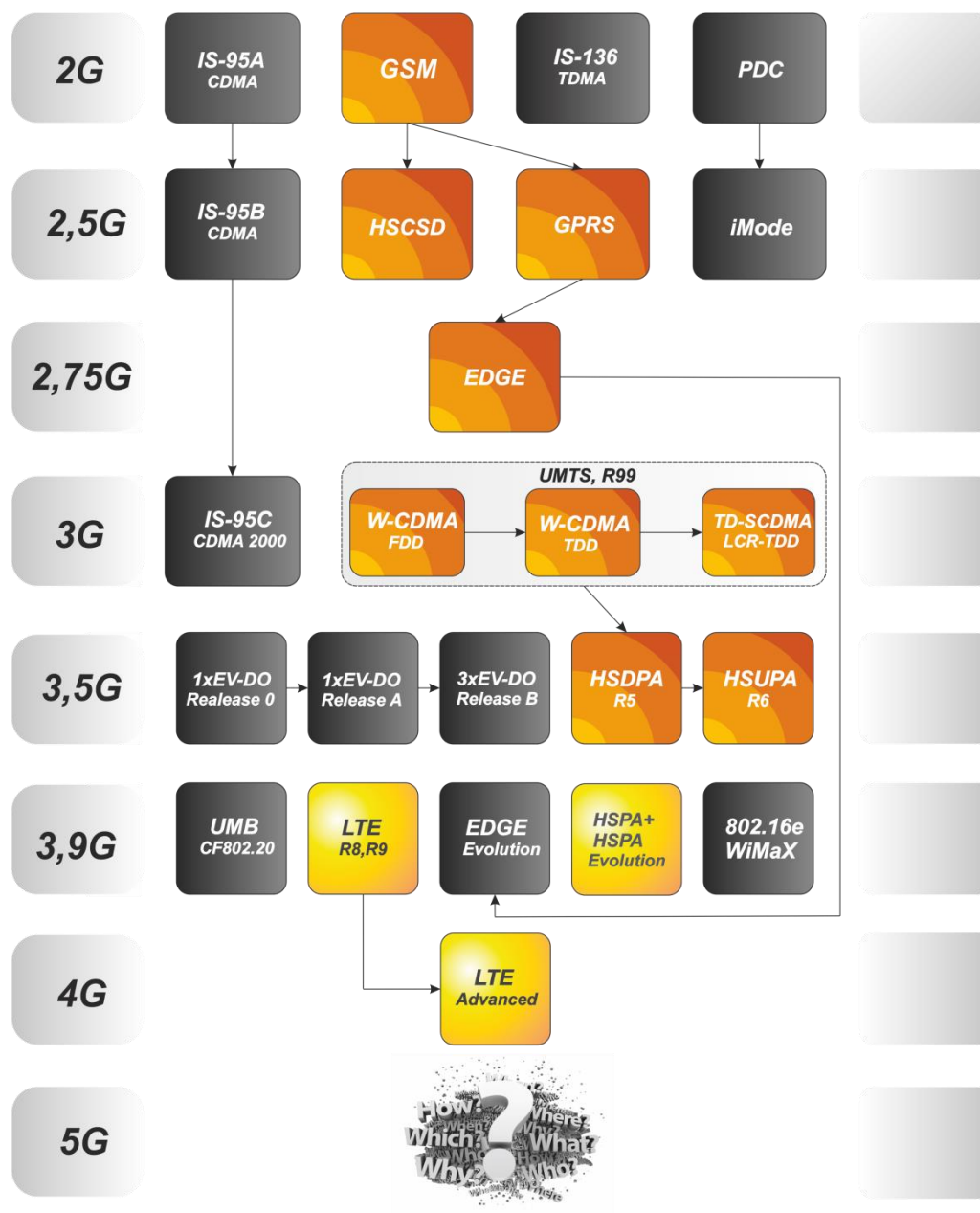
A mobilkommunikáció fejlődését az 1. ábrán mutatom be [1][2][3] alapján. Az ábrán, nyomon követhető a generációnként adatátviteli sebességek növekedése illetve az irány amerre fejlődött a technológia.

Az első generációs analóg mobilhálózatok után a következő lépést a digitális 900 MHz-en működő **GSM** verzió hozta. Uplink irányba 890-915 MHz-en Downlink irányban pedig 935-960 MHz-en működik a kommunikáció. Ezt a frekvenciasávot két egyenként 25 MHz-es részre bontják, melyekben 124 db 200 KHz-es beszédcsatorna van. A hálózatot cellás rendszerben alakították ki, melyben minden cellát egy-egy bázisállomás sugároz be. Érdeemes, és ajánlott a cellákat úgy kialakítani, hogy a szomszédos celláknak ne legyen azonos csatornája, ugyanis ebben az esetben zavar lép fel. Ezt elkerülve 2 cellával odébb már használhatóvá válik ugyanaz a csatorna, ugyanis nem lesz a csatornában egyezés. Sűrűn lakott területeken a cellák sűrűbben helyezkednek el annak érdekében, hogy ki tudják szolgálni a felhasználókat. Értelemszerűen ritkábban lakott területeken kevesebb cella is elegendő.

Új szolgáltatások kerültek bevezetésre, mint például az **SMS** (Short Message Service), vagy a **WAP** (Wireless Application Protocol), melynek köszönhetően áramkörkapcsolt adatátvitel jöhetett létre 14,4 Kbps sebességgel és idő alapú számlázással. Hibaként mutatkozott az, hogy a kapcsolat ideje alatt a csatorna folyamatosan foglalt volt.

Előrelépést hozott a csomagkapcsolt adatátviteli szabvány a **GPRS** (General Packet Radio Service), ami csak akkor foglalta a csatornát, ha tényleges adatátvitel történt. Ez esetben 56 – 114 Kbps-ra nőtt az adatátviteli sebesség. Négyféle kódolási lehetőséget tartalmazott, hálózat minőségétől függően 9,6 – 21 Kbps-ig, melyből legfeljebb 8-at lehetett összerakni az elméleti 170 Kbps-os sebesség elérése érdekében. A valóságban 57,6 Kbps-ot tudtak elérni. A színes kijelzős készülékek megjelenését követően előtérbe került az **MMS** (Multimedia Messaging Service) mint szolgáltatás, mely lehetőséget biztosított a multimédiás tartalmak küldésére. Következő lépcsőfokként tárgyalnám az **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) szabványt, ami már 8×59,2 Kbps-os elméleti letöltési sebesség is elérhetővé vált, de a gyakorlatban ez csak 236,8 Kbps volt. Eredetileg a 3G-t koncessziót nem kapott hálózatok számára fejlesztették ki, hiszen megközelíti annak sebességét, ezért is hívják 2,75G-nek. 2003 júniusában érkeztek a 3G-nek nevezhető technológiák az **UMTS** (Universal Mobile

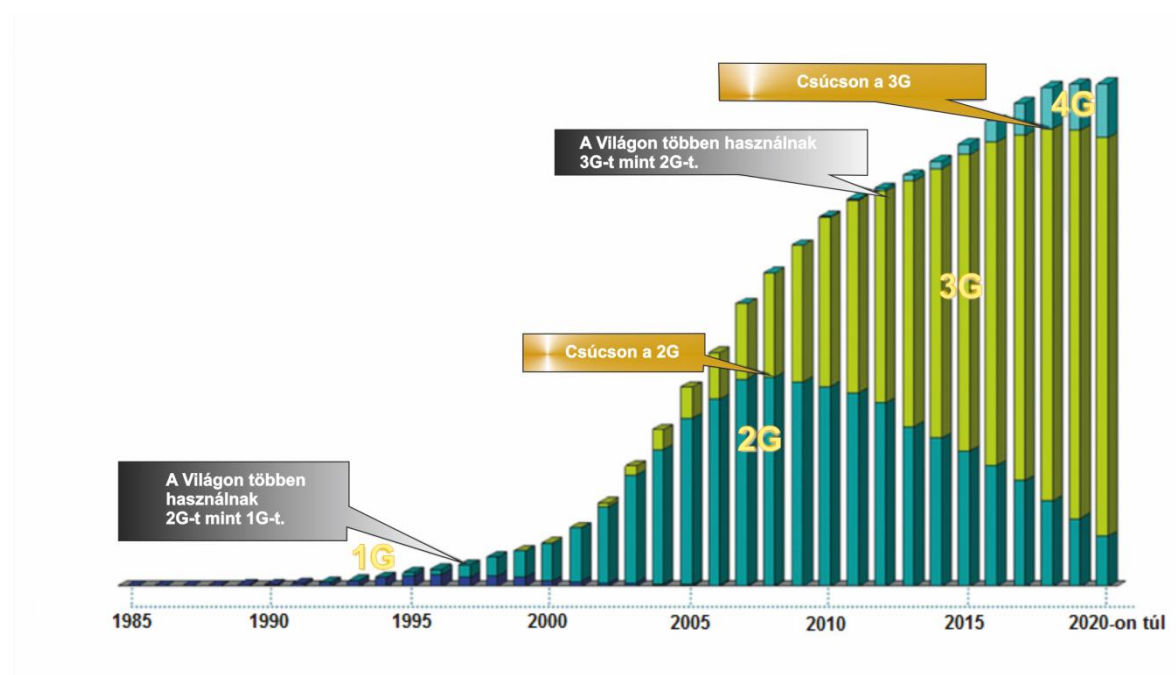
Telecommunications System) ami W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) átvitelt használ, valamint a **CDMA2000**.



1.ábra. Mobiltechnológiák alakulása

Az utóbbi főleg Japánban és Amerikában vált elfogadottá. Alapszolgáltatásai azonosak az 2,75G-vel, csak nagyobb az adatátviteli sebesség (384 Kbps) illetve a minőség is javult. Az UMTS Európában 2.1 GHz-en működik, páros frekvenciasávok esetén az uplink 1920-1980

MHz-en, a downlink 2110-2170 MHz-en kommunikál a terminálokkal. A 3G fejlesztéseire 2 évet kellett várni, amikor is 2005-ben megérkezett a HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) szabványt támogató 3G hálózat. Jelentős előrelépést értek el vele, ugyanis a sebesség megnövekedett 1,8-14,4 Mbps-ra. A HSDPA is csak két évig uralkodott ugyanis 2007-ben a még nála is sokkal nagyobb sebességre képes HSPA+ (High-Speed Packet Access) vette át a vezető szerepet sebessége 21-42 Mbps. 2009-ben elérkeztünk a 3,9G-hez, amikor is Oslóban és Stockholmban elsőként indították el a nyilvános LTE (Long Term Evolution) szolgáltatást 100 Mbps sebességgel. 2011-ben a Huawei bemutatta az LTE Advanced fejlesztést, amely egyesek szerint elérheti az 1 Gbps-os határt (technológiában 225 Mbps-os sebességet értek el). Feltöltési irányban is MIMO rendszert használ, de ami még ennél is meghatározóbb az a vivőtömbösítés melyben több 20 MHz-es blokkot is egyesít és ezáltal rendkívül nagy, akár 100 MHz-es blokkokkal is dolgozhat. Magyarországon az LTE szolgáltatás elsőként a T-Mobile-nál volt elérhető 2012-ben. Érdekességgént ugyan ebben az évben, Oroszországban egyes helyeken már útnak indult az LTE Advanced szolgáltatás melyet a YOTA Networks alakított ki. A továbbiakban taglalnám az LTE tulajdonságait, működését és előnyeit.



2. ábra. Mobiltechnológiák életpályái

II. LEGÚJABB 3GPP RENDSZER

Ebben a fejezetben bemutatom a legújabb 3GPP rendszer sajátosságait, kiemelve az LTE rendszer tulajdonságait, technológiai és architektúráis szempontból.

2.1 Long Term Evolution

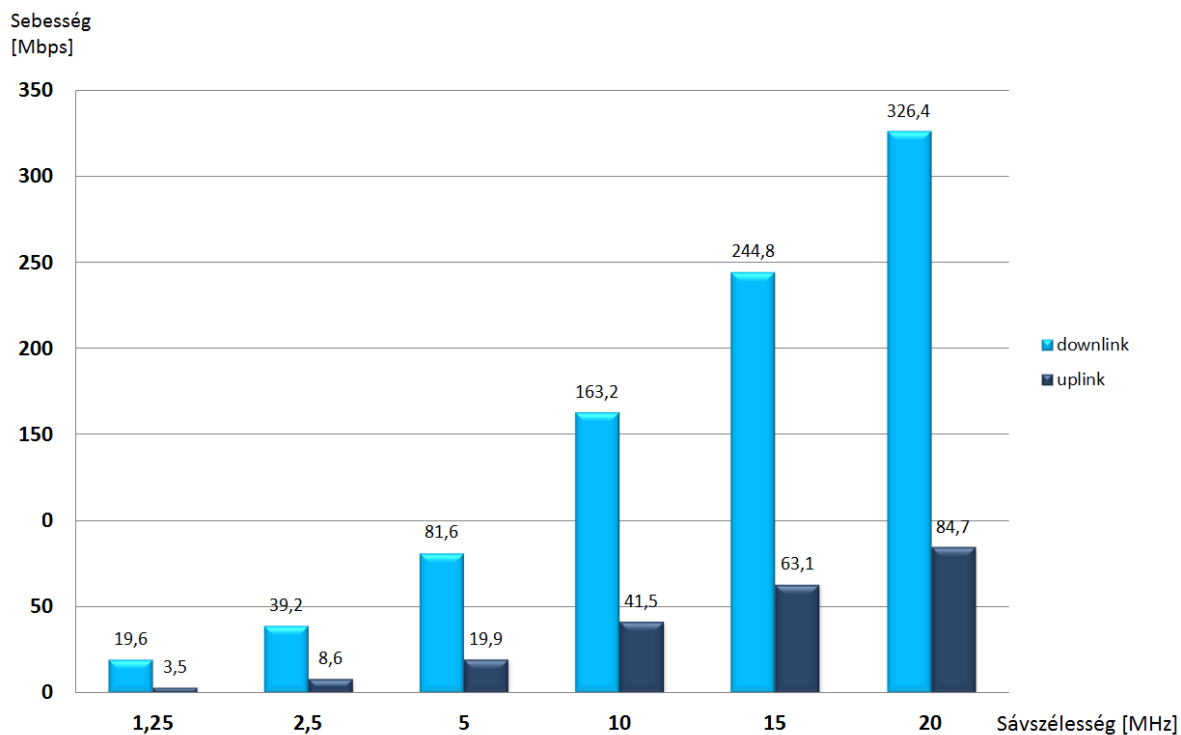
A Long-Term Evolution (LTE), amelyet gyakran Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA), néven is emlegetnek, egy cellás mobil távközlési szabvány melynek célja a harmadik generációs UMTS rendszerek teljes szerepének átvétele.

A rendszer OFDM rádiós hozzáférési technikát alkalmaz, mellyel a későbbiekben külön foglalkozok. Downlink irányban OFDMA, uplink irányban SC-FDMA átviteli technológiát használ. A 3GPP a szabványosítási folyamatok elején az alábbi célokat tűzte ki: [2]

- 2.1.1. Az LTE adottságai és képességei
- 2.1.2. Az LTE teljesítménye
- 2.1.3. A rendszer bevezetése, spektrumkiosztás
- 2.1.4. Továbbfejlesztett maghálózat az LTE számára

2.1.1 Az LTE adottságai és képességei

A legszembetűnőbb változást egyértelműen az adatátviteli sebességben érték el. Vegyük például a 20 MHz-es sávszélességben működő LTE-t ami downlink irányban 100 Mbps, uplink irányban 50 Mbps a cél. Keskenyebb sávokban ehhez viszonyítva határozták meg a maximális sebességeket.[5][6][7][8]



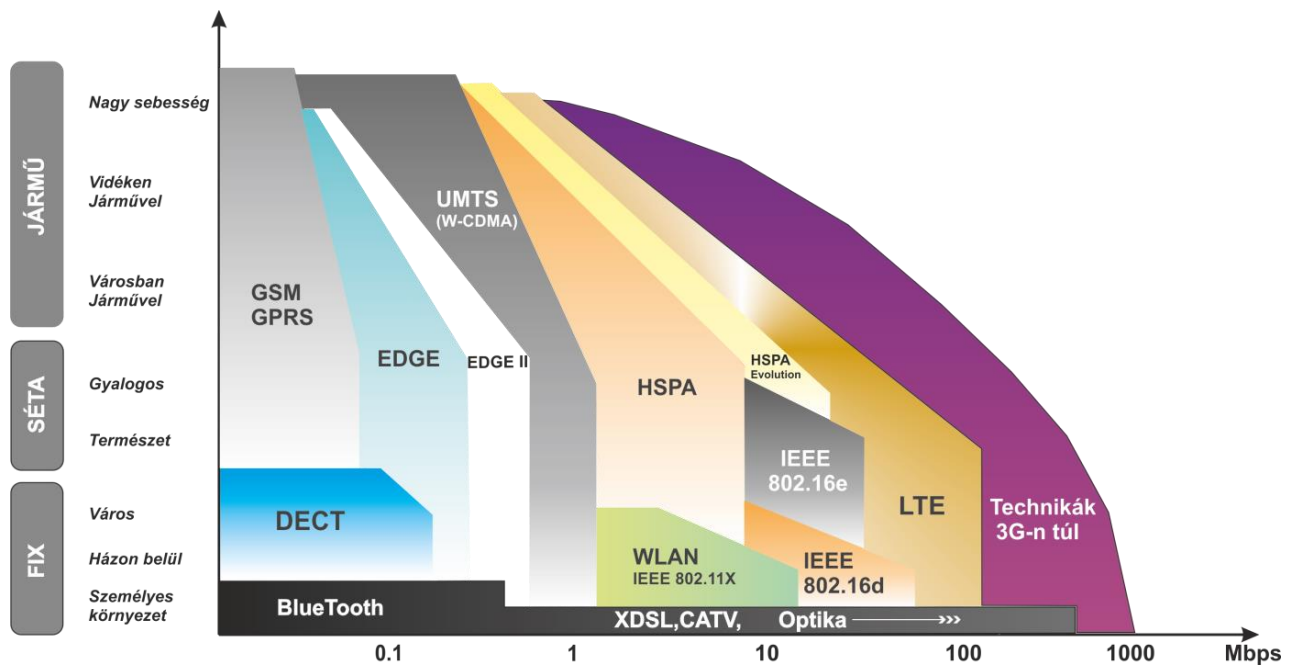
3. ábra. LTE elméleti sebességek 4x4 MIMO technológiával

Követelményként fogalmazták meg továbbá azt, hogy mind az időosztásos (TDD) mind pedig a frekvenciaosztásos (FDD) átviteli módokat támogatnia kell a rendszernek. Előírás az is hogy 5 MHz-es sávszélesség mellett egyszerre 200, az ennél nagyon sávokban pedig közel 400 felhasználót is támogatni tudjon [4].

2.1.2 Az LTE teljesítménye

Ezek az előírások a spektrumkihasználásra, annak hatékonyságára, a mobilitásra és a lefedettségre irányulnak. A mobilitást a felhasználók sebességéhez mérték, így a maximális átviteli sebesség akkor is garantált mikor a terminálok sebessége 15 km/h-nál nem nagyobb. Nagy átviteli sebességet kell nyújtania 120 km/h sebességig, illetve a rendszernek működnie kell a terminálok 350 km/h sebességéig, majd ezt meghaladván megszakadhat a kapcsolat. [4]

A lefedettségre vonatkozó előírásokban a cellák méreteire vonatkoznak. A rendszernek minden elvárásnak meg kell felelnie 5 km-es cellasugárig. Ennél nagyobb sugár esetén kismértékben megengedhető a minőség és a sebesség romlás.



4. ábra. Vezetékes és Vezeték nélküli átviteli rendszerek képessége, és mobilitása

2.1.3 A rendszer bevezetése, spektrumkiosztás

Az LTE számára különböző frekvenciasávokat jelöltek ki, melyek látszanak a következő ábrán. A frekvenciák felhasználásánál flexibilisnek kell lennie, ugyanis széles spektrumból kell válogatni frekvenciákat, hogy a korábbi technológiákkal való együttélést is támogatni tudja, mint például (GSM, UMTS, HSPA). A már meglévő, vagy a még meglévő szolgáltatások megszűnésével, új frekvenciák szabadulnak majd fel, melyeket az LTE-nek hasznosítani kell. A rendszer fel van készítve TDD és FDD átvitelre egyaránt. [9]

1.táblázat: LTE működési frekvenciák

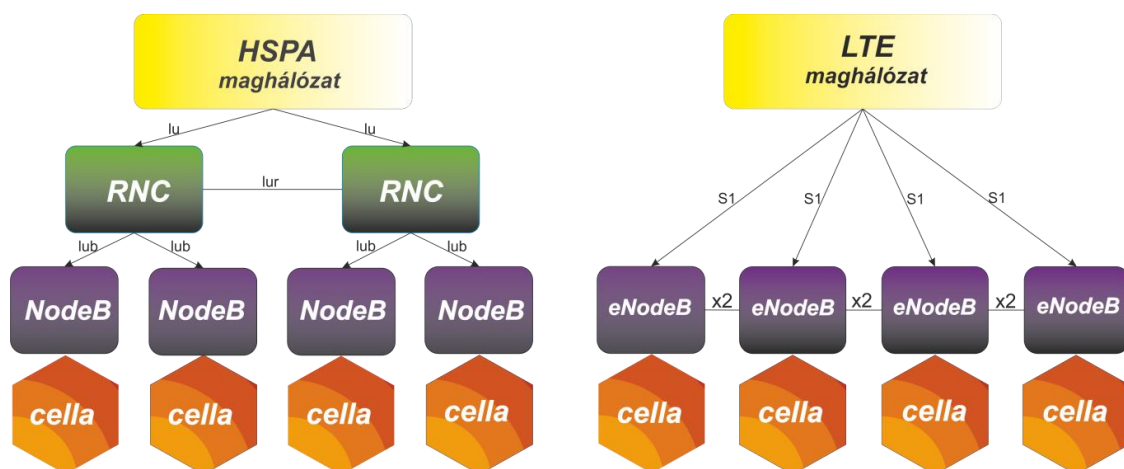
LTE Frekvencia sávok	Uplink			Downlink			Duplex Mód
	Flow	-	Fhigh	Flow	-	Fhigh	
1	1920 MHz	-	1980 MHz	2110 MHz	-	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	-	1910 MHz	1930 MHz	-	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	-	1785 MHz	1805 MHz	-	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	-	1755 MHz	2110 MHz	-	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	-	849 MHz	869 MHz	-	894 MHz	FDD
6	830 MHz	-	840MHz	875 MHz	-	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	-	2570 MHz	2620 MHz	-	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	-	915 MHz	925 MHz	-	960 MHz	FDD
9	1749,9 MHz	-	1784,9 MHz	1844,9 MHz	-	1879,9 MHz	FDD
10	1710 MHz	-	1770 MHz	2110 MHz	-	2170 MHz	FDD
11	1427,9 MHz	-	1452,9 MHz	1475,9 MHz	-	1550,9 MHz	FDD
12	698 MHz	-	716 MHz	728 MHz	-	746 MHz	FDD
13	777 MHz	-	787 MHz	746 MHz	-	756 MHz	FDD
14	788 MHz	-	798 MHz	758 MHz	-	768 Mhz	FDD
....		-			-		
17	704 MHz	-	716 MHz	734 MHz	-	746 MHz	FDD
....		-			-		
33	1900 MHz	-	1920 MHz	1900 MHz	-	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	-	2025 MHz	2010 MHz	-	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	-	1910 MHz	1850 MHz	-	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	-	1990 MHz	1930 MHz	-	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	-	1930 MHz	1910 MHz	-	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	-	2620 MHz	2570 MHz	-	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	-	1920 MHz	1880 MHz	-	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	-	2400 MHz	2300 MHz	-	2400 MHz	TDD

2.1.4 Továbbfejlesztett maghálózat az LTE számára

A továbbfejlesztett maghálózat a SAE (System Architecture Evolution) néven vált híressé. A SAE alapjába véve hasonlít a HSPA rendszerben alkalmazott megoldásokhoz. Fontosnak tekintették, hogy a SAE támogatni tudja az alábbi szolgáltatásokat: [2]

- IPv4, IPv6 Internet Protocol alapú szolgáltatások
- Mobil internet, Hagyományos hangátvitel, üzenetküldés és az ezt megelőző szolgáltatásokat.
- MBMS (Multimédia Broadcast Multicast Service)

Szétválasztották a maghálózatot (CN) és a rádiós hozzáférési hálózatot (RAN) annak érdekében, hogy a RAN teljes mértékben a rádiós átvitel optimalizálásával tudjon foglalkozni. Ez a technikai megoldás már a HSPA hálózatok kialakításánál is előtérbe került. Fontos szempont volt a csomópontok és a bázisállomások számának csökkentése ezért újra átdolgozták a hozzáférési hálózatot, ahogy azt a következő ábrán láthatjuk.



5.ábra. Maghálózatok

A HSPA hálózatot RNC egységek és NodeB eszközök alkotják melyben a NodeB kapcsolatot teremt a hálózat és az antenna között, az RNC pedig a maghálózat és a RAN között történő adatáramlásért felelős. A bázisállomások csak egy RNC-hez tartozhatnak, viszont az RNC egységek képesek egymáshoz csatlakozni. Azzal hogy az LTE maghálózatából kikerültek az RNC egységek, kevesebb ugrás maradt a média útjában, a késleltetési idő is lecsökkent, illetve a rendszer teljesítménye is optimalizáltabbá vált. Az LTE hozzáférési hálózatában a bázisállomásokat összekötik egy X2 interfésszel, így egy bázishoz több cella is tartozhat,

melyeket különböző antennákkal üzemeltetnek. Az interfészek IP-alapú protokollra lettek kifejlesztve, így minden szolgáltatás, beleértve a hangátvitelt is, ami a szakdolgozatom írásának idején még nem állt rendelkezésre Magyarországon (VoLTE). Beolvasztották az egész hozzáférési logikát az eNodeB eszközökbe, ezáltal bonyolultabb működésre kényszerülnek az RNC-k hiánya miatt. Szokás EUTRAN-nak (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) is nevezni ezen eNodeB eszközöket.

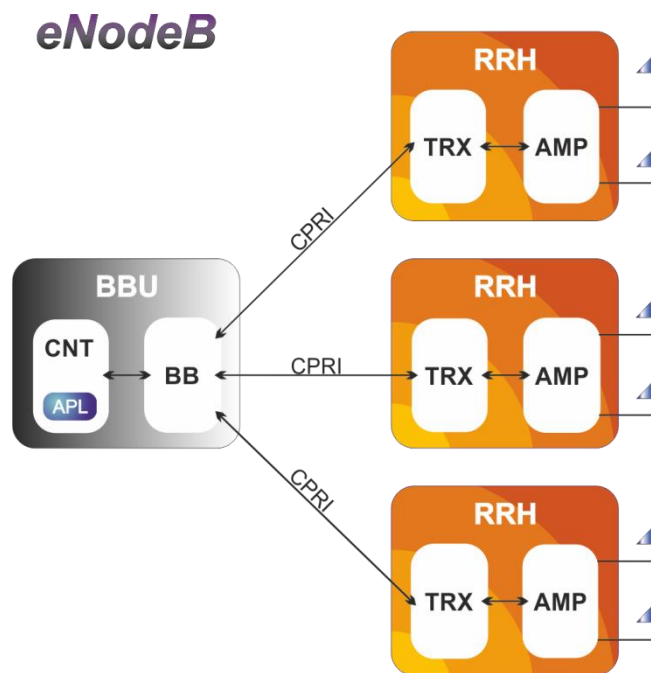
2.2 EUTRAN

Az LTE Rádiós hozzáférési hálózata egyszerűsödött a 3G-s technikákhoz képest, ugyanis csak egyetlen ENodeB entitást tartalmaz. Kivették a bázisállomás vezérlőket (BSC), illetve megszüntették az RNC-ket is. Az RNC feladatai ezzel mind az eNodeB-re hárultak rá, úgy, mint erőforrásblokk kiosztás, moduláció megválasztás, kódarány kiválasztása. A kódarány megválasztásával egyidőben befolyással van az adatátviteli sebességre is, hiszen ha több hibajavító kódot használunk, akkor lecsökken a hasznos adatok száma. Ezt a gyakorlatban a mobil készülék segítségével valósítják meg, azzal a módszerrel, hogy kiméri a CQI-t (channel quality indicator) ami egy 4 bites érték, s majd ezt továbbítva a bázisállomásnak, és szükséges esetben az eNodeB megváltoztatja a kódarányt.

A Mobil eszközök megszólítását (paging) is az ENodeB végzi, mondjuk egy bejövő hívás esetében. Abban az esetben, mikor a mobil eszközök kapcsolódni akarnak a hálózathoz, küldenek egy csomagot a bázisállomás részére a PRACH csatornán, amit 64 Zadoff-Chu algoritmus mintából választ. Ezt követően a bázisállomás annak függvényében, hogy megkapta-e a csomagot 10 ms-on belül válaszolni fog, és megjelöli a készülék számára lefoglalt blokkokat.

További feladata az ENodeB eszközöknek az IP-csomagok fejrészének tömörítése illetve kitömörítése. Egy fejrész hossza 192 bit IPv4 esetben. Fontos feladat a fejrész tömörítése, hiszen ha kis datagrammokat viszünk át nagy fejrésszel, akkor a hasznos adatsebesség lecsökken.

Mobilitás menedzselésének kérdése is az eNodeB feladatköre. Az LTE rendszerében a hard handover cellák közti átadást használják, melyben a készülék megszakítja az elhagyott cellával a kapcsolatát mielőtt csatlakozna az új cellához. Mint azt említettem a bázisállomások kommunikálnak egymással ezt az X2 interfészen keresztül teszik meg. Ez a megoldás segíti a titkosítást, és sokkal biztonságosabbá teszi a kommunikációt.



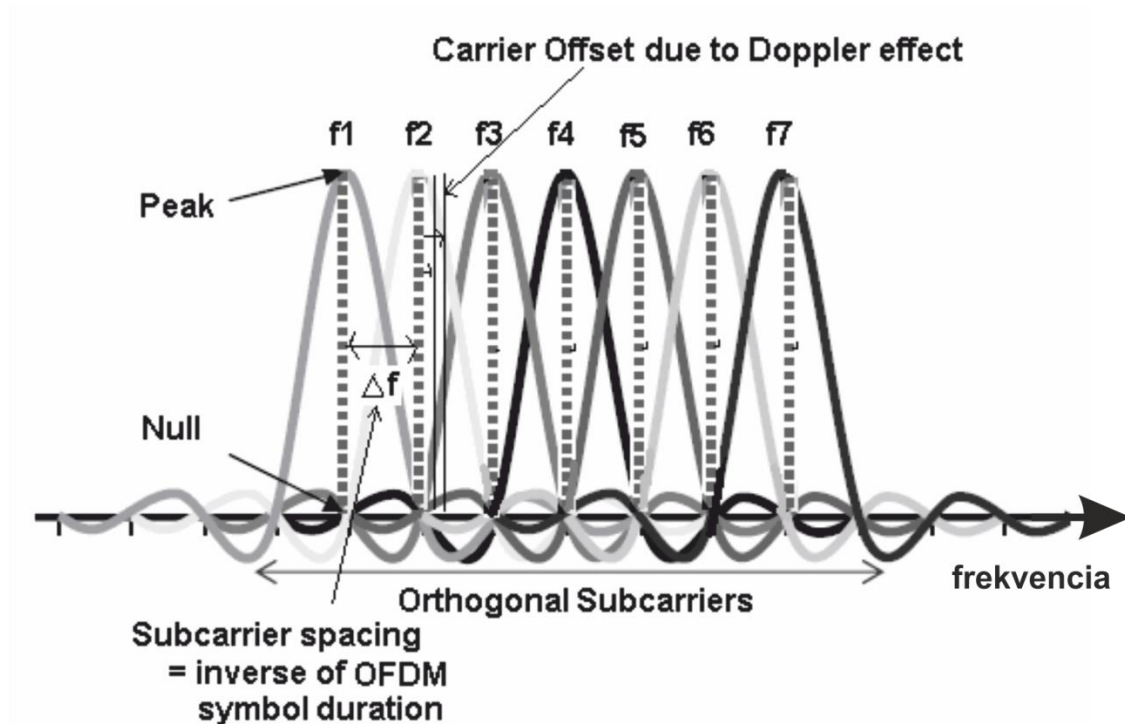
6.ábra. eNodeB [10]

Mint ahogyan az az ábrán is látszik, az eNodeB 2 fő egységből áll, melyek optikai kábel segítségével kommunikálnak egymással. Az egyik a BBU, a másik pedig az RRH. A BBU egy alapsávi jelfeldolgozó, ami kapcsolatot teremt a törzshálózat és az E-UTRAN között az S1 interfész segítségével, továbbá összekapcsolja a bázisállomásokat az X2-es interfészen. Ide tartoznak az IP datagramok feldolgozása és továbbítása letöltési irányban, az RRH irányában feltöltéskor pedig a maghálózat irányába. Mint ahogy azt már fentebb említettem, az eNodeB második fő része az RRH (Remote Radio Head). Az ő feladatai közé tartoznak az IP-s csomagok rádiós hálózatra illesztése, illetve a mikrohullámú jelek erősítése és antennára juttatása. Az ábrán 3 RRH-t rajzoltam melyek csatlakoznak a BBU-hoz ez a szám a maximális, amit BBU-hoz lehet kötni. Manapság már több technikával is üzemeltethetők az eNodeB-k, ugyanis több gyártónak vannak olyan eszközei mellyel szabadon keverhetők a technológiák például egy BBU-hoz tartozhat LTE, GSM és WCDMA is

III. LTE Átviteli módok

3.1 Downlink átvitel: OFDMA

Az OFDMA egy rádiós hálózati szabvány, melyet a többfelhasználós rendszerekre optimalizáltak. Az alvivőket részhalmazokba rendezzük, majd ezeket osztjuk szét a felhasználóknak azzal a szabállyal, hogy egy alvivő egyszerre csak egy felhasználóhoz kerülhet. Ezzel a módszerrel növelhetjük a spektrumkihasználtságot. Többvivős átviteltechnika, melyben kis sáv szélességű rendkívül sok segédvivőt alkalmaznak. (pár száz db). Frekvenciatartományban a vivők egymás mellett foglalnak helyet Δf távolságban. Δf kifejezhető az a következő módon $\Delta f = 1/T_u$ ahol T_u az egyes OFDM-szimbólumok átviteléhez szükséges idő. Ezzel az elrendezéssel a segédvivők egymással ortogonálisak maradnak, ezáltal nem zavarják egymást, ugyanis teljesül a Nyquist-feltétel, miszerint ahol az egyik jelnek maximuma van, ott a többi jelnek minimuma, zérushelye. Időtartományban négyszögimpulzus jelalakokat használ, melyek segítségével a segédvivők spektruma $\sin x/x$ alakú lesz [11].



7. ábra. OFDM jel

Fontos megjegyezni, hogy nagyobb sebességek esetén nem teljesül a Nyquist-feltétel és sérül az ortogonalitás, ezáltal használhatatlanná válik az OFDM.

3.2 Ciklikus prefix

CP (Cyclic Prefix) egy védősáv, amit az OFDM átvitel során alkalmaznak a többutas terjedéssel szembeni védekezésre, azaz tulajdonképpen egy szimbólumvéget ismételnék meg a keret elején. A védősáv alkalmazásánál választani kell intervallumot, ugyanis ha túl nagy intervallumot alakítunk ki a keretnek, akkor ugyan nagy védelmet nyújt, de lerontja az átviteli képességet. A védőidő és a szimbólumidő aránya $1/4$ illetve $1/8$ a gyakorlatban. Ezt a következő egyenlettel lehet kiszámolni [12]:

$$E's = E_s * \frac{T_s}{T_s + T_G}$$

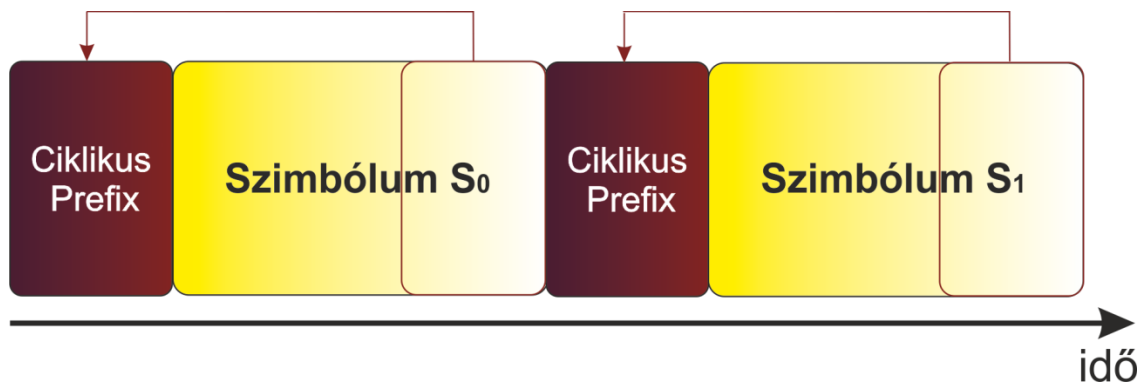
$E's$ – csökkentett szimbólumenergia

E_s – szimbólumenergia

T_s – szimbólumidő

T_G – védőintervallum hossza

Ezekkel a védőidőkkel kiküszöbölhető a szimbólumok közötti interferencia (ISI).



8. ábra. Ciklikus Prefix

3.3 Az LTE kódolása

Hibavédelmi kódolásnak a Turbó kódot használja, mikor is 1 bitet 3 biten kódol. Mindemellett adaptív kódolást is használ, ami azt jelenti, hogy tudja változtatni a kódarányt és a modulációt annak függvényében, hogy milyen a csatorna.

Jó csatorna esetén, ha nincs zavarás, és jó a jel-zajviszony akkor magasabb állapotszámú modulációt használ és a kódarány is lecsökken, ellentétben a rossz csatornával mikor alacsonyabb szintű modulációt használ és megnő a kódarány annak érdekében, hogy biztonságos legyen az átvitel.

3.4 OFDM előnyei és hátrányai

Előnyök:

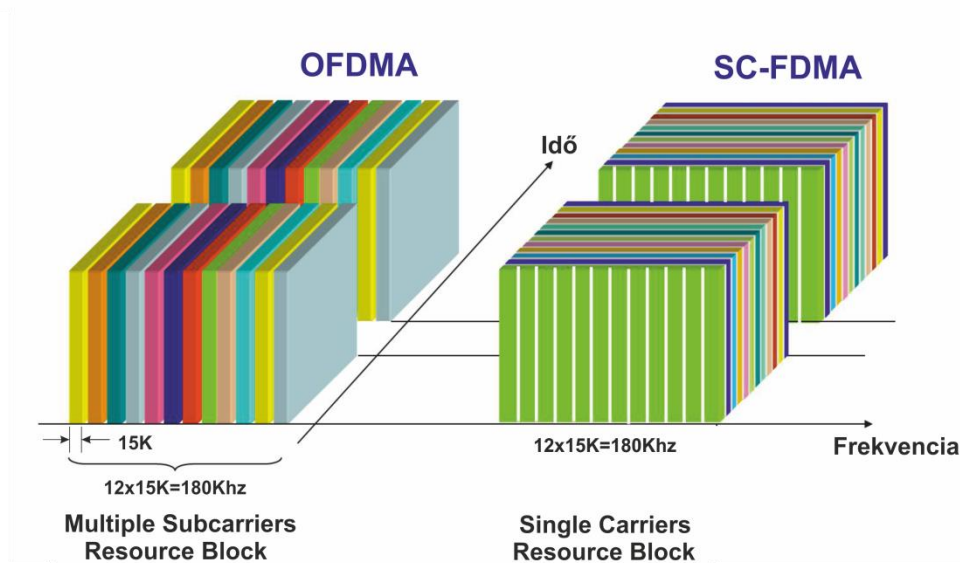
- Hatékony spektrumkihasználás
- Fadingre alig érzékeny
- Technikai védettséget élvez detektálás során
- A Fourier transzformáció miatt a számítások lecsökkennek
- Szinkronizációs hibákra kevésbé érzékeny

Hátrányok:

- Nagyon érzékeny a frekvenciapontosságra
- Bonyolult interferenciakezelés
- Nagy követelmények az erősítőkkel szemben

3.5 Uplink átvitel: SC-FDMA

Felmerül a kérdés, hogyha Downlink irányban OFDMA-t használunk, akkor uplink irányban miért nem? A válasz az, hogy megoldható lenne, de a felhasználók eszközeinek nem tenne túl jót a nagy Peak to Average Power Ratio (PAPR) miatt. „Ez azt jelenti, hogy viszonylag kis átlagteljesítményhez nagy csúcsteljesítmények tartoznak” [13]. Abban az esetben, ha így használnánk a készülékeket, akkor az eszközök erősítő fokozatait könnyen túlvezérelhetnénk, ami nemlineáris torzítást idéz elő. Összefoglalva a felhasználók készülékei nagyon hamar tönkremennének és az adatátvitel is nehézkes lenne ezért választották az SC-FDMA-t. Ennek előállítása az OFDM-jeltől egyedül a diszkrét Fourier transzformációban különbözik, ezért nevezik DFTS-OFDMA-nak is. OFDM-nél minden adatszimbólumot egy alvivőre ültetünk. Uplink irányban viszont alvivő csoportok hordozzák az adatfolyam frekvenciatartománybeli mintáit, tehát egy ilyen blokk minden adatot magába foglal. Ezzel a módszerrel is védekezni lehet a frekvenciaszelektív fading ellen, mégpedig úgy hogy egymástól elszeparálva küldjük ki őket ez a megoldás a PARP szempontjából is szerencsés.



9. ábra. SC-FDMA és OFDMA képe

3.6 Rétegek és Protokollok.

Az különböző rétegek között az információ más és más protokollok segítségével áramlik. Minden rétegben megvannak a fejrészek, amelyek csökkentik ugyan a hasznos adatsebességet, de célba juttatják az adatokat. [13]

PDCP

Packet Data Convergence Protocol, melyhez elsőként érkeznek be az IP datagramok az RRC-t követően. A PDCP az réteget és protokollt is jelent egyidejűleg. Tömöríti és kicsomagolja az IP-fejrészeket, titkosít, biztosítja az adatsomagok sorrendjének és sértetlenségének meglétét.

RLC

A Radio-Link Control hasonlóan a PDCP-hez réteg és protokoll is. Feladataihoz tartozik a datagrammok összefűzése és szétválasztása megfelelő sorrendben, továbbá a hibás csomagok újrakérése.

MAC

Medium Access Control réteg nagy mértékben felelős a felhasználók adatsebességében, illetve élményében, hiszen ő határozza meg az erőforrás blokkok számát, ezt 1ms-onként vizsgálja és pozitívan vagy negatívan befolyásolja az adatsebességet. Logikai csatornába nyalábolja a transzport csatornákat, megoldja az automatikus újraküldés kérést is. Az LTE-ben jelent meg az az új megoldás hogy az ütemezést a bázisállomások egymás között oldják meg az X2 interfész segítségével, és nem terhelik vele a maghálózatot. Megoldható immár az is hogy a bázisállomások a sáv szélességeiket megosszák egymással, és ezáltal egy kevésbé használt cella kapacitást szabadíthat fel egy másik terhelt cella számára.

Fizikai réteg

Ennek a rétegnek a moduláció a demoduláció és a logikai csatorna képzése a fő feladata, illetve kezelnie kell a MIMO rendszerhez szükséges információkat.

3.7 Többantennás rendszerek

Az LTE képes felhasználni a többantennás rendszereket, ezáltal adatsebesség javulást érhetünk el. A következőkben erről szeretnék írni és ezek felhasználási területeiről. [4][15]

3.7.1 Diverziti

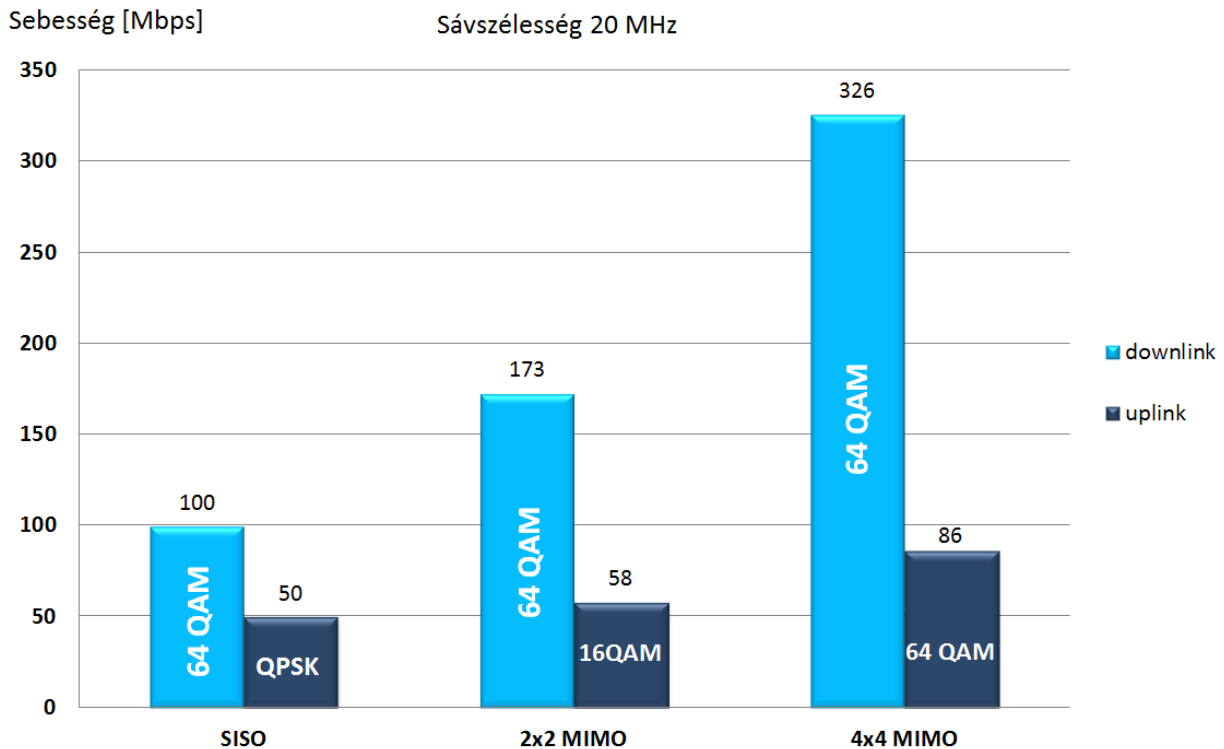
Az eNodeB több antennával rendelkezik, a gyakorlatban ezzel védekeznek a többutas terjedéssel szemben, ugyanez elmondható vevő oldalon is. Annak érdekében, hogy egy ilyen diverziti antenna rendszer jól működjön, a két antenna távolságának a kisugárzott hullámhossz legalább tízszeresének kell lennie az eNodeB oldaláról nézve. UE felől, ezt nem tudjuk teljesíteni. Vegyünk például egy Mobil telefont ahol a teljes eszköz hossza 10 cm, ott fizikailag lehetetlen ezt megvalósítani ezért fél hullámhosszra szokták méretezni a mobil eszközök diverziti antennáit. Egy felhasználó általában különböző épületekben, járművekben vagy a mikrohullám számára különböző terepakadályok körül. Az ilyen környezet nagyobb mértékben szórója a hullámokat, ezáltal a jel-zaj viszony is megnő, ami befolyásolja az adatsebességünket ezért hasznos készülékünk számára a diverziti antenna.

3.7.2 Nyalábformálás

Egyidejűleg táplált antennák között negatív kölcsönhatás jöhet létre, amely eltorzítja az antennák karakterisztikáját. A torzulás nagymértékben függ az antennák egymáshoz viszonyított távolságától és az antennákon kiadott jelektől, azok amplitúdójától és fázisától. Mivel minden antenna elvben adó és vevő antenna is egyaránt így ez igaz mind adó mind pedig vevő oldalra. A nyalábformálást alkalmazva folyamatosan változtathatjuk az antenna nyereségét adott irányt tekintve. [14]

3.7.3 MIMO

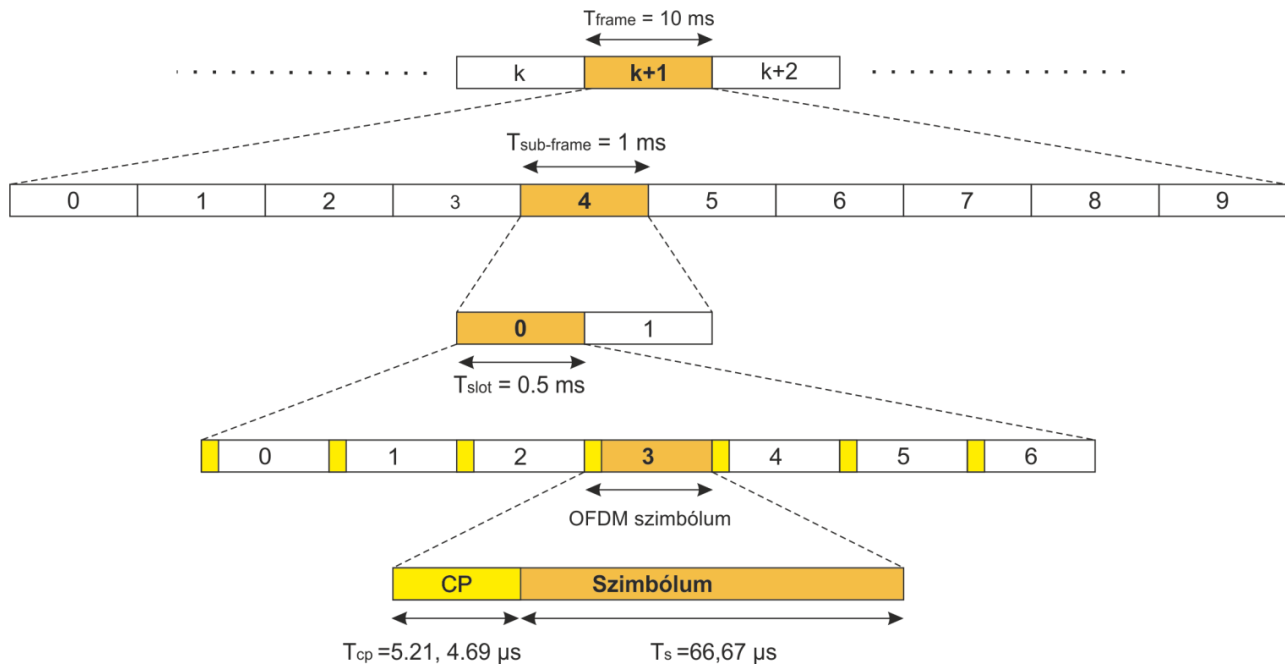
Az LTE képes MIMO (Multiple Input, Multiple Output) antennarendszerekkel dolgozni ezzel térbeli multiplexálást érünk el, amely az adatsebesség növekedését jelenti a párhuzamos csatornák miatt. Ez az adatsebesség elméletileg az antennák kétszerezésével (vevő és adó oldalon) megkétszereződik adott sáv szélességet tekintve. A gyakorlatban a mobil eszközök a jel-zajviszony után mérlegelve jeleznek a bázisállomásoknak a rank indicator segítségével. Ezt követően a bázisállomás vagy a MIMO rendszer mellett dönt vagy a fentebb leírt két mód közül választ, melyek nem érnek el ekkora adatsebességet ugyan, de biztonsággal működtethetőek az adott pillanatban.[5][6][7][8]



10. ábra. Adatsebességek elméleti alakulása MIMO rendszerben LTE-ben

3.8 Erőforráskészlet a fizikai rétegben

Az LTE rendszerében a felhasználók adatai keretekben különülnek el egymástól, amit Frame-nek is nevezünk. Egy ilyen keret időtartama 10 ms ebben van 10 db 1 ms-os alkeret (sub-frame) melyekben további 2 db 0,5 ms-os alkeret (slot) van. Minden egyes sub-frameben lehetőség van ütemezésre, moduláció választásra. Nagy interferencia esetén a bázisállomás megváltoztatja a modulációt, például 16QAM-ről „leesik” QPSK-ra, ahol 2 bitet veszítünk szimbólumonként. Ezzel biztonságosabbá válik, az átvitel sajnos az adatsebesség kárára. Ezt nevezzük adaptív modulációnak. [4]



11. ábra. Keretszerkezet az LTE-ben

3.9 Physical Resource Block

A felhasználók szeparálva vannak mind frekvenciában és időtartományban egyaránt. Egy slotban 6-7 szimbólumot viszünk át ciklikus prefixtől függően. Egy blokk az 12db 15KHz-es segédvívót tartalmaz, ami összesen 180KHz. Példaképpen számoljuk ki, hogy 64QAM-et használva 20 MHz-en ezzel a technikával milyen sebességet érhetünk el? [4]

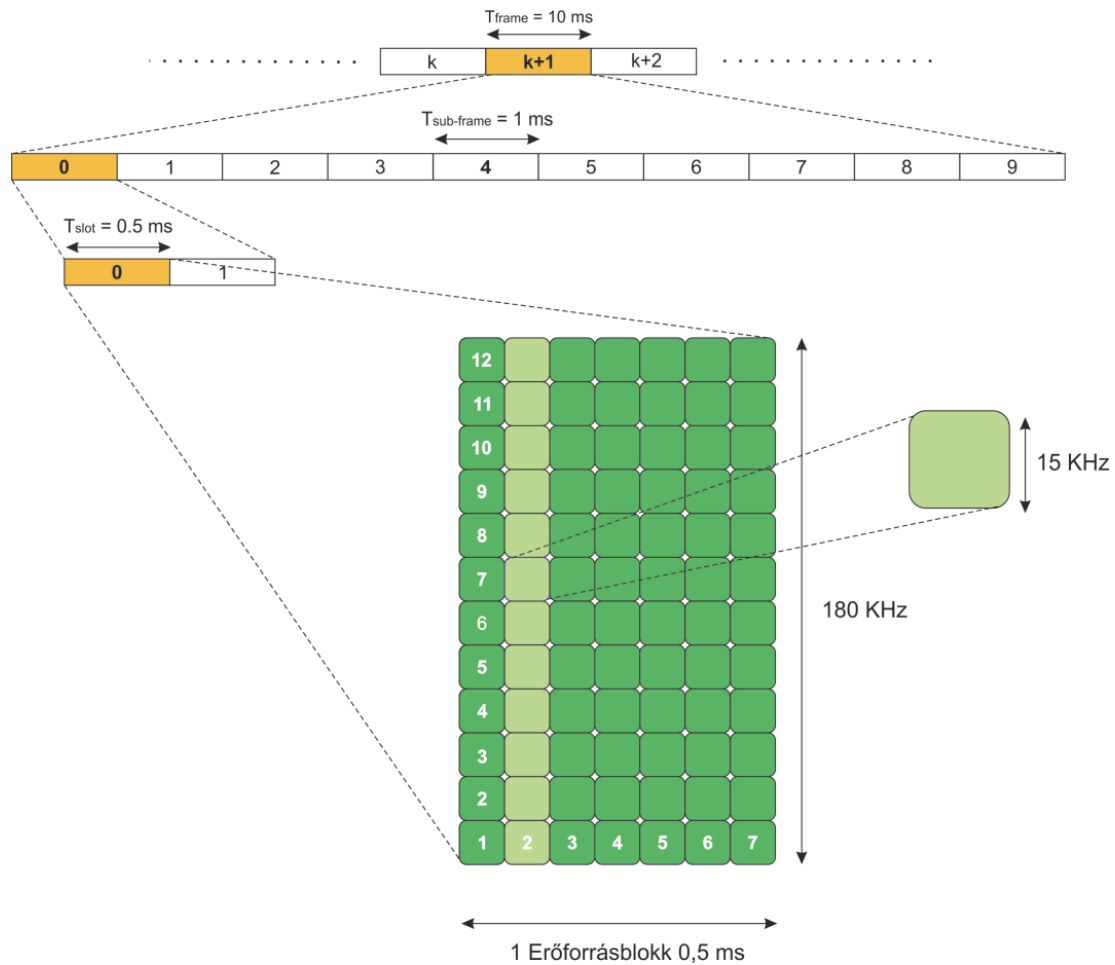
$$(6 \cdot 7 \cdot 12) - 1 \text{ db slot (504bit)}$$

$$((6 \cdot 7 \cdot 12) \cdot 2) - 1 \text{ db sub-frame (1,008 Kbit)}$$

$$(((6 \cdot 7 \cdot 12) \cdot 2) \cdot 10) - 1 \text{ db frame (10,08 Kbit)}$$

$$((((6 \cdot 7 \cdot 12) \cdot 2) \cdot 10) \cdot 100) - 180 \text{ KHz sávszélességen (1,008 Mbit)}$$

$$((((((6 \cdot 7 \cdot 12) \cdot 2) \cdot 10) \cdot 100) \cdot 100) - 18 \text{ MHz-en a védősávok miatt, } \underline{100,8 \text{ Mbps}}$$



12. ábra. LTE erőforrás blokk

3.10 Csatornák

3.10.1 Fizikai csatornák

A felhasználóktól érkező adatok és vezérlő információk továbbítását végzik uplink irányban. Downlink irányban pedig a transzport csatornák alakulnak fizikai csatornákká. [13]

Downlink irány:

- **PCFICH**

Physical Control Format Indicator Channel tartalmazza a Control Format Indicator információt, amely meghatározza az OFDM szimbólumok azon számát, melyeket vezérlésre használunk. Ez a szám 1-3-ig terjedhet minden egyes sub-frameben.

- **PHICH**

Physical Harq Indicator Channel az automatikus újra küldés kérés a feladata eNodeB-től a mobil eszköz felé. A hibás csomagokat a maghálózat megvizsgálja, és ha hibát talál, akkor a PHICH kiküldi 3x-os redundanciával BPSK modulációt használva az UE számára.

- **PBCH**

Physical Broadcast Channel a felhasználókat informálja a keretek számáról, a használt sávszélességről és a PHICH helyéről.

- **PDCCH**

Physical Downlink Control Channel a felhasználóknak szolgálat vezérlési információkat. Ezek lehetnek lefoglalt erőforrás blokkok, kódarány és modulációs információk vagy utasíthatja a mobil eszközt az adóteljesítményének változtatására.

- **PDSCH**

Physical Downlink Shared Channel egy 24 bites ciklikus ellenőrző kódot ad hozzá a felhasználók adataihoz. A hibásnak gondolt csomagok újra kérésének folyamatát indítja el.

- **PMCH**

Physical Multicast Channel ezt a csatornát műsorszórásra lehet alkalmazni, mivel a transzport csatornák kerülnek hozzá.

Uplink irány:

- **PUCCH**

Paging Upload Control Channel UE-től az eNodeB felé közöl vezérlő információkat. Hasonló a downlink irányba működő PHICH-hoz itt is újra küldés kérés a feladat. Rank indicatort és előkódolási mátrix mutatót (PMI) küld a bázisállomásnak.

- **PRACH**

A Physical Random Access csatornán jelez a mobil eszköz az eNodeB-nek, hogy kapcsolódna hozzá. Ezen a csatornán bonyolítják le a szinkronizációt.

- **PUSCH**

Physical Uplink Shared Channel szállítja a felhasználók uplink forgalmát. A PUCCH és a PRACH által nem használt blokkokat hasznosítja.

3.10.2 Transzport csatornák

- **BCH**

Broadcast Channel a hálózat paramétereit osztja meg illetve feltételeket a hálózathoz kapcsolódáshoz. A PBCH csatornában utazik.

- **DL-SCH**

A Downlink Shared Channel szállítja a felhasználók adatait és a vezérléshez szükséges információkat egyaránt. A PDSCH-ban van kódolva.

- **PCH**

Paging Channel jelzi, hogy egy UE kapcsolódni szeretne a bázisállomáshoz. PDSCH-ban utazik és a paging jelzést tartalmaz.

- **MCH**

Multicast Channel tipikusan különböző Műsorszóró tartalmakat lehet rajta fogadni.

- **U-SCH**

Az Uplink Shared Channel feltöltés irányban szállítja a felhasználók adatait.

- **RACH**

Random Access Channel-en keresztül csatlakoznak a UE-ek a bázisállomáshoz. A PRACH csatornában van kódolva

3.10.3 Logikai csatornák

- **CCCH**

Common Control Channel egy olyan csatorna, amely mindkét irányban működik, és vezérlő jeleket tartalmaz mindaddig, amíg RRC_IDLE módban van és nincs kapcsolat a mobil eszköz és a bázisállomás között.

- **DCCH**

Dedicated Control Channel egy olyan csatorna, ami átveszi a CCCH feladatát, mielőtt kapcsolat létesül a bázisállomás és a UE között. Vezérlő üzeneteket hordoz és a DL-SCH illetve az UL-SCH-ban van kódolva.

- **DTCH**

Dedicated Traffic Channel IP-csomagokat tartalmaz a felhasználók adataival downlink és uplink irányban. A DCCH-hoz hasonlóan ő is a DL-SCH illetve a UL-SCH-ban van kódolva.

- **PCCH**

Paging Control Channel az RRC_IDLE módban üzemelő UE-ket szólaltatja meg, pagingeli. PCH-ben van kisugározva.

- **MCCH**

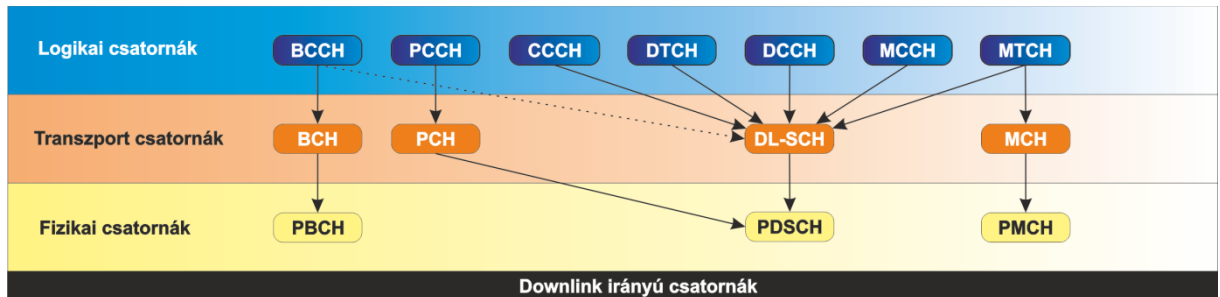
Multicast Control Channel ami downlink irányú csatorna és Broadcasthoz valamint Multicasthoz tartozó vezérlő információkat tartalmaz. Két helyen utazhat, ha az eNodeB egy cellával dolgozik akkor a MCH-ban, ha viszont több cellával ami valószínűbb, akkor a DL-SCH-ba.

- **MTCH**

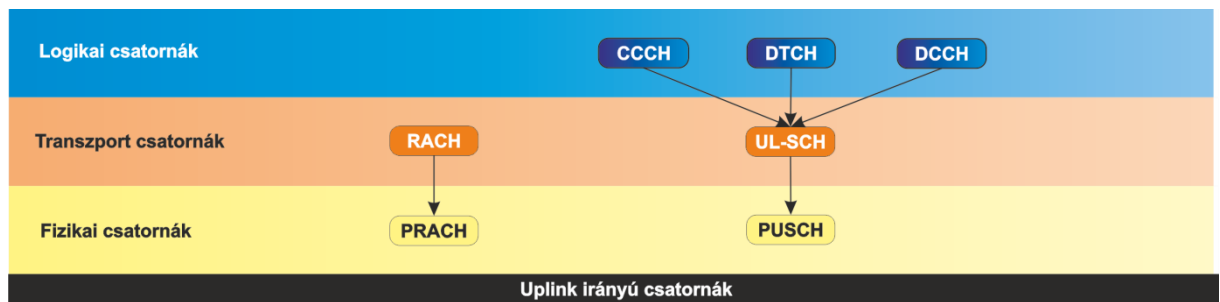
A Multicast Traffic Channel különböző műsorszóró tartalmakat közvetít és az MCH-ban vagy pedig a DL-SCH-ban található meg.

- **BCCH**

Broadcast Control Channel két fontos információt szolgáltat, az egyik a sávszélességgel kapcsolatos információ a Master Information Block-ban, illetve konfigurációs információt a PHICH csatornáról.



13. ábra. Downlink irányú csatornák



14. ábra. Uplink irányú csatornák

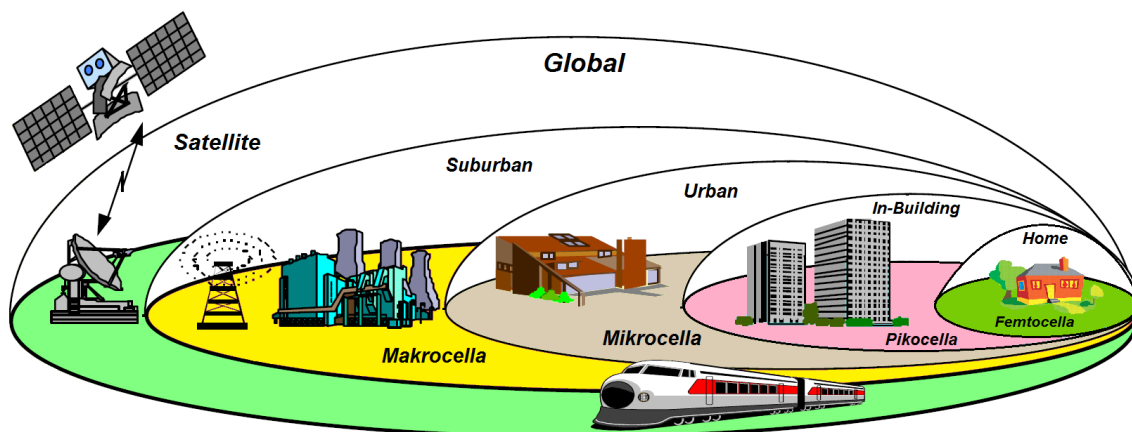
IV. Cellatervezés

Egy terület rádiós lefedése előtt meg kell győződnünk arról, hogy a lefedni kívánt területen milyen a népsűrűség. Ez nagyban befolyásolja a cella méreteket, ugyanis mint azt már fentebb leírtam 5 MHz-es sáv szélesség mellett egyszerre a maximálisan 200 felhasználót tud kiszolgálni egy bázisállomás ennél nagyobb sáv szélességen, pedig 400-at. Ez a szám nem túl sok feltéve, hogy egy nagyobb magyar városokban több százezer ember is élhet. A későbbiekben látni fogjuk, hogy a frekvencia változtatásával a cella méretet tudjuk befolyásolni ugyanis a hullámterjedés nem lesz egységes. A népsűrűség és a frekvencia tehát befolyásolja, a cellák méretét a cellák mérete pedig a kapacitással van kapcsolatban. Kisebb cellákat kell alkalmazni azokon a területeken, ahol nagy kapacitásra van szükség, ahol sok előfizető van és nagyobbakat ott, ahol kevesebben laknak.

4.1. Cella méretek

Cella méreteknél egyelőre 4 különböző méretről beszélhetünk, a következő technológiák valószínűleg az eddig használt legkisebb cellaméretnél is kisebbet fognak használni a nagy sebesség elérésének céljából.

- Marko
- Mikro
- Piko
- Femto



16. ábra. Cella méretek

4.1.1 Makrocella

Nagy területek lefedésére használatos melyeknek sugara 1 és 35 km közötti. Ezeket a cellákat a méretükből adódóan is nagy teljesítménnyel kell besugározni ez többnyire 10-120W közötti érték. Ritkán lakott területek (mező, autópálya, erdők stb..) jellemző cellamérete ugyanis nincs szükség nagy kapacításra ezeken a területeken.

4.1.2 Mikrocella

Kisebb területek lefedésénél alkalmazzák, sugara 200m és 1km közötti. Sűrűn lakott területeknél alkalmazzák (városok, városrészek) és kisebb adóteljesítmények jellemzik 10mW és 5W közöttiek.

4.1.3 Pikocella

Beltéri lefedésre használják többnyire valamit autópályák vagy nagy forgalmú területek kapacitásának növelésére.

4.1.4 Femtocella

Háztartások, kisvállalkozások területén található meg, ahol a mobilszolgáltatók nem tudnak megfelelő szolgáltatást kialakítani. Ez az eszköz egy otthoni bázisállomás szerepét tölti be de kapacitása jóval gyengébb mint a többi cellában fellelhető eNodeB-nek. Tipikusan 2-4 vagy vállalati környezetben 8-16 felhasználót képesek kiszolgálni

4.2 Cellák frekvencia függése

A cellák mérete nagyban függ a használt frekvenciától, ugyanis a különböző hullámhosszok más és más terjedést mutatnak. Nagyobb frekvenciák felé közelítve a cellák méretei csökkennek a hullámterjedés miatt.

A magyar mobil szolgáltatók már több frekvenciasávot használnak, de terjeszkedni akarnak 800 MHz illetve 2600 MHz felé. A 2600 MHz-en működő LTE hasznos lehet sűrűn lakott területek kiszolgálásában, pont a kis cellaméret miatt nagyobb kapacitással rendelkezik. A 800 MHz es sáv pedig alkalmas lehet a ritkábban lakott területek kiszolgálásában ahol nagy területet fedhetünk le ugyan akkora adóteljesítmény mellett. A következőkben a cellaméreteket szeretném bemutatni különböző frekvenciákon melyben segítségemre lesz az Okumura-Hata hullámterjedési modell.

Okumoura –Hata modell [17]

Ez a modell mondhatni teljes mértékben a gyakorlatból merített tudásból jött létre. Rengeteg tapasztalat és mérés eredményeként jött létre ez a ma is előszeretettel használt módszer. Használható Rural, Suburban és Urban környezetben egyaránt. Itt fontos megjegyezni, hogy a modell csak 200 és 2000 MHz között ad jó közelítést.

Szakaszcsillapítás meghatározása Okumura-Hata model segítségével:

- Rural

$$L_{dB} = A + B \log(d) - D$$

- Suburban

$$L_{dB} = A + B \log(d) - C$$

- Urban

$$L_{dB} = A + B \log(d) - E$$

ahol

$$A = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_b)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log(h_b)$$

$$C = 2(\log(f_c/28))^2 + 5,4$$

$$D = 4,78(\log(f_c))^2 - 18,33 \log(f_c) + 40,94$$

$$E = 3,2(\log(11,75h_m))^2 - 4,97 \text{ (nagyobb városokban)}$$

$$E = (1,1 \log(f_c) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f_c) - 0,8) \text{ (kisebb városokban)}$$

$L_{dB} = 130$ –at feltételezve illetve 30 m magas adótornyokat, a modell segítségével számított cellasugarak a következőképpen alakulnak:

COST-231 Hata [17]

Ez a modell használatos 1500 és 2000 MHz- között ugyanis ezeken a frekvenciákon jobb közelítést ad mint az Okumoura –Hata modell.

$$L_{dB} = F + B \log(d) - E + G$$

ahol

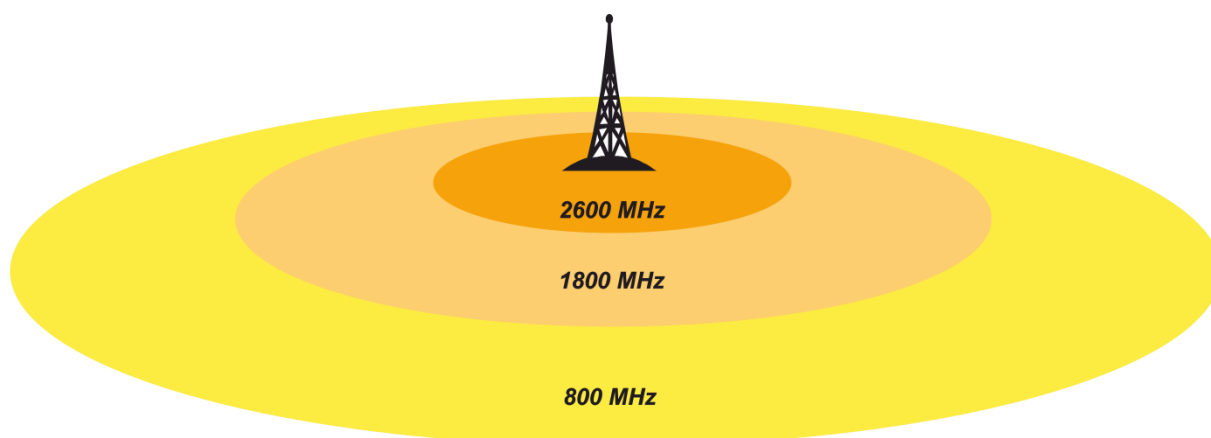
$$F = 46,3 + 33,9 \log(f_c) - 13,82 \log(h_b)$$

E = fentebb definiált

G = 3 dB nagyvárosban és 0 dB kisvárosi környezetben.

Területek	1800 Mhz	800 Mhz
Rural	6020 m	8600 m
Suburban	1640 m	2590 m
Medium City	667 m	1380 m
Big City	540 m	1380 m

2. táblázat hullámterjedések



17. ábra. cellaméreték változása a frekvencia függvényében

4.3 Interferencia kezelés

Az LTE rendszerében Interference Avoidance , azaz interferencia megelőzést használnak, melyben az optimális frekvencia újrahelosztást tűzik ki célul. Az interferencia megelőzéssel a cellahatáron tartózkodó felhasználók adatsebességén szeretnének javítani anélkül, hogy az eNodeB-hez közelebb lévő felhasználók megérezzék szolgáltatásaikban aminőségbeli romlást. Ahhoz hogy mindez működjön szükség van a eNodeB-k közötti kommunikációra, melyhez az X2 interfész ad lehetőséget.

Megoldást jelenthetne az interferencia problémára a klaszteres megoldás ami már bizonyított a GSM rendszereknél, viszont a klaszter növelésével veszünk a kapacitásból ami miatt ez a módszer alkalmatlanná válik az LTE számára. Az FFR (Fractional Frequency Reuse) sem jelentet kielégítő megoldást a cellahatáron megnövelt erőforrásaival. Ide sorolhatóak az FFR tovább fejlesztett változatai az SFR valamint a PFR. Az összes technika javítanbá a problémát, azonban az összes megoldás erőforrás veszteséget eredményez. A következőkben bemutatnám az SFR illetve a PFR statikus megoldásokat.

- **SFR**

Az újrahelosztási faktor (reuse factor) a cella középpontjában 1 értéket vesz fel kifelé haladva a cellahatár közelében pedig ennél valamivel nagyobbat. Cellahatáron kiosztott sáv szélesség harmada az eNodeB egész sáv szélességének és ortogonális a szomszéd cellákra. Azokat a vivőket melyek a cella közepén vannak, mellékvivőcsoportnak nevezzük a határon lévőket pedig fővivőcsoportnak. Minden csoporthoz a kívánt reuse factortörának megfelelő adóteljesítményt párosítjuk. Ezt a cella közepén illetve a cellahatár közelében lévő csoportok adóteljesítménye jelöli ki.

- **PFR**

A frekvenciatervezés szempontjából hasonlít az SFR megoldásra, viszont a reuse factor ebben az esetben minden esetben nagyobb 1-nél.

- **Dinamikus Interferencia csökkentés**

Két csoport létezik a cellák közti interferenciáknál, a szektorizált cellák tekintetében. Az egyik csoport az eNodeB-n bellüli interferencia a másik pedig az azon kívüli. Az erőforrás blokkokra vonatkozó megkötések a UE-k sebességeivel vannak összefüggésben. A felhasználók sebesség igényét, és a cellákon bellüli illetve kívüli interfeenciákat alapul véve létrehoztak egy kihasználtsági mátrixot, cellán bellüli és kívüli esetekre. A mátrix elemeit megkaphatjuk, ha egy felhasználó erőforrás blokjin elérhető adatsebességet beszorozzuk az m-edik felhasználó sebességbeli követelményével. Az optimális PRB-UE hozzárendelést a magyar algoritmus (Hungarian algoritm) egy iteratív változatával oldák meg. Ennek az újításnak köszönhetően nagyobb hatékonyságot érhetünk el mint a PFR, vagy az SFR megoldásoknál.

IV. Drive tesztek és a mérések értékelése

A mérés során az egyik magyar mobilkommunikációs operátor LTE 800-as bázisállomást vizsgáltunk, illetve azt, hogy ez az állomás képes-e együtt dolgozni a már meglévő bázisállomásokkal, technológiákkal. A tesztek során 2 mérést végeztünk lefedettség szempontjából, az egyiket Zalaszentgróton, a másikat pedig Budapesten. A két mérésen szeretném bemutatni a vidéki és a városi környezetet. A szóban forgó operátor a 3.táblázatban feltüntetett paramétereket használja az adott technológiákhoz.

3. táblázat vizsgált eszközök paraméterei

Technológiák	Frekvencia	Sávszélesség	Cella terhelése
UMTS - 900	900 MHz	4,2 MHz	Élő hálózat
LTE - 800	800 MHz	10 MHz	Teszt hálózat
LTE - 1800	1800 MHz	20 MHz	Élő hálózat

Megfigyelhető, hogy az adott technológiákban más és más sáv szélességeket használ az operátor, ez betudható a frekvenciapályázaton megvásárolt frekvenciáknak, illetve az operátor stratégiájának.

A mérés során felhasználtunk több műszert, az egyiket nevezetesen a Rohde&Schwarz által gyártott TSMW scannert, ami kültéri antennával rendelkezett (itt az autó külső részére rögzített tetőantennára gondolok), illetve egy GSM/UMTS/LTE hálózatokat mérni képes Samsung Galaxy S III (QualiPoc) terminált, ami az autó belsejében kapott helyett, éppen annak érdekében hogy tudjuk mérni az adatsebességet, ugyanis a TSMW scanner csak egy passzív eszköz egy hitelesített antennával, ami a jelszintek vételén kívül másra nem képes.

Az adatsebesség méréséhez a QualiPoc mobil terminált az operátor direkt mérések támogatására készített FTP szerverre irányítottuk, ahol a kapcsolat felvétele után a QualiPoc letöltést kezdeményezett. A mérés egész ideje kapcsolatban voltak egymással, kivéve azokban az utcákban, ahol a jelszint már kritikusan alacsony volt, ekkor a készülék és az FTP szerver közti kommunikáció megszűnt.

5.1 QualiPoc

Ez az eszközt a Swiss Qual fejlesztette ki Android alapokon, annak érdekében, hogy real-time hang és adat szolgáltatásokat tudjon optimalizálni. Könnyedén lehet vele mobil hálózatokat mérni, ugyanis egy rövid beállítás után az eszköz kiméri az adott technológia számunkra fontos paramétereit (jelszint, jel-zaj viszony, moduláció stb).



15. ábra. QualiPoc S III

A Quali Poc hasznos mérőeszköz lehet számunkra olyan méréseknél is, ahol nincs szükségünk minden egyes paraméterre, csak ellenőrizni szeretnénk adott területen a szolgáltatás minőségét. Ez lehet adatátvitel, hangminőség vagy különböző szolgáltatások. Előnyként tekinthető az is hogy kis helyen elfér, hiszen egy mobiltelefonról beszélünk, nem pedig egy komolyabb nagyobb méretű mérő műszerről, mint azt ahogy tehetnénk a TSMW esetében. Összeségében elmondható róla, hogy megbízható eszköz és a hálózatot könnyen és gyorsan átláthatjuk segítségével illetve hogy valóságos, a felhasználók által tapasztalható paramétereket mér, ezáltal könnyebben lehet hibákat detektálni például egy általunk vizsgált hálózatban is.



16. ábra. QualiPoc Mérés

Sokkal realisztikusabb eredményeket kaphatunk, mint más műszerekkel, ugyanis a hálózatot használóknak is ugyan ilyen képességű, vagy hasonló készüléke van.

Rengeteg szubjektív alapokon fekvő mérést végezhetünk el rajta, ami a felhasználók élményét javíthatja, ezek lehetnek egy tesztszám hívását követő szubjektív hangminőség vizsgálat, vagy egy Youtube, Internetes rádió vagy más média tartalmakat tartalmazó internetes oldalak betöltése és komoly adatsebességet kívánó videók vagy más tartalmaik megtekintése, tesztelése. Ezek az igények a mindennapos életben folyamatosan jelentkeznek a felhasználók oldaláról, ugyanis ezek azok a szolgáltatások, amikért a felhasználók pénzt

fizetnek az operátor felé ezért nagyon fontos, hogy a hálózatban az ehhez hasonló mérési eszközökkel tudjunk mérni és tesztelni.

5.2 TSMW

A TSMW egy univerzális rádiós hálózatanalizátor, mellyel 30 MHz-től 6 GHz-es frekvencia tartományig lehet méréseket végezni. Támogatja az LTE-FDD és TD-LTE módokat valamint a TD-SCDMA-t. Képes párhuzamosan mérni GSM, WCDMA, LTE, CDMA2000, 1xEV-DO, TETRA és WIMAX rendszereket az R&S ROMES4-es teszt szoftverével. A Rendszerben integrálva van a GPS is, ami elengedhetetlen eleme egy drive tesztnél, ugyanis a koordináták alapján tudjuk meghatározni azt, hogy pontosan hol és mit mértünk. Automatikusan detektálja a csatornákat és a cellákat. Méréseink során, mint azt már fentebb említettem, tetőantennát használtunk a mérő autóban és ezt csatlakoztattuk a TSMW mérő műszerhez. Fontos volt, hogy a kábelek, splitterek, csatlakozók csillapítását kompenzáljuk, ezért olyan antennát kellett választanunk a mérőautó tetejére, melynek nyeresége közel kiegyenlítse az eszközök csillapítását.



17. ábra. Műszer TSMW

5.3 Drive teszt kiértékelése

5.3.1 Adatok szűrése

Egy drive teszt során rengeteg pontban készül mérés így nagyon sok adatot kell feldolgoznia a mérőrendszernek, ami adatvesztéssel járhat, ezen kívül nagy számban előfordul az, hogy a mérőrendszer egyszerűen képtelen detektálni hálózati paramétereket. Ezekben az esetekben fontos, hogy a hasznos adatokat elválasszuk a haszontalanoktól, hiszen a hiányos mérések csak zavarják a kiértékelést. Ezekben hasznunkra lehetnek olyan adatbázis kezelő programok, mint Excel, Access stb.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ido	sc	rscp	ec/Io	EARFCN	PCI	rsrp	rsrq	lon	lat
2	12:15:53	?	?	?	6400	2	?	?	?	?
3	12:15:54	?	?	?	6400	2	?	?	?	?
4	12:15:55	?	?	?	6400	2	-74,7	-4	?	?
5	12:15:56	24	-67,3	-3,4	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
6	12:15:57	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
7	12:15:58	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
8	12:15:59	24	-67	-3,8	6400	2	-74,56	-3,97	17,11943	46,93183
9	12:16:00	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
10	12:16:01	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
11	12:16:02	24	-66	-4,1	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
12	12:16:03	?	?	?	6400	2	-74,19	-4,15	17,11943	46,93183
13	12:16:04	24	-66,5	-4,6	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
14	12:16:05	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
15	12:16:06	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
16	12:16:07	24	-65,9	-4,9	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
17	12:16:08	?	?	?	6400	2	-74,99	-3,9	17,11943	46,93183
18	12:16:09	24	-66,3	-5	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
19	12:16:10	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
20	12:16:11	24	-67	-3,6	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
21	12:16:12	24	-68,7	-4,3	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
22	12:16:13	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
23	12:16:14	24	-68,2	-4,2	6400	2	-74,31	-3,92	17,11943	46,93183
24	12:16:15	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
25	12:16:16	24	-64,5	-3,9	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
26	12:16:17	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
27	12:16:18	24	-68,3	-3,7	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
28	12:16:19	24	-66,6	-3,6	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
29	12:16:20	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
30	12:16:21	24	-66,7	-3,4	6400	2	-74,85	-4,02	17,11943	46,93183
31	12:16:22	24	-66,9	-4,4	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
32	12:16:23	?	?	?	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
33	12:16:24	24	-66,4	-4,3	6400	2	?	?	17,11943	46,93183
34	12:16:25	24	-66,1	-3,1	6400	2	?	?	17,11943	46,93183

22. ábra. mérési adatok feldolgozása

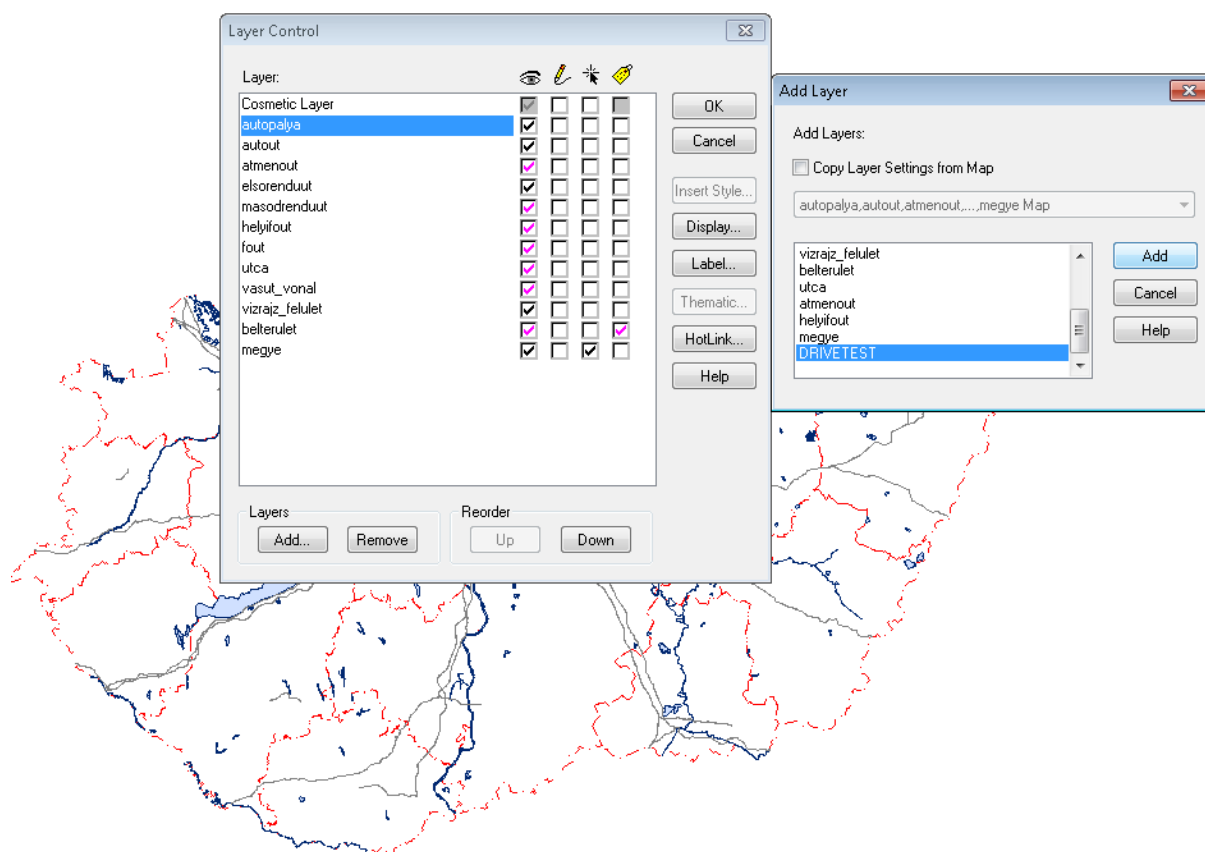
Látható az 22. ábrán, hogy rengeteg hibás, hiányos sor van, amiket nem tudunk feldolgozni ezek többnyire, ahogy látszik is jelszintre és jel-zajviszonyra vonatkozó mérések. A feldolgozás után egy egységes adattáblát kapunk, ami tartalmazza a térképes programunkhoz legfontosabb adatokat, a GPS koordinátákat. Ahogy azt majd később látni fogjuk, a térképes program a hosszúsági és a szélességi adatokat fogja felhasználni arra, hogy elhelyezze mérési

pontjainkat a térképen. Nagyon fontos, hogy ezek a kiértékelések pontosak legyenek, ugyanis jelszintek vizsgálata esetén következtetni lehet hibásan, optimalizálatlanul működő hálózati elemekre, melyek leronthatják a felhasználók élményét, vagy mint ahogy azt mi is tettük lefedettség térképet kreálhatunk belőle.

5.3.2 MapInfo Professional

A MapInfo egy Windows alapú térinformatikai program elsősorban vektoros elemek (pont, vonal, felület) feldolgozására szolgál, de bizonyos korlátok között raszteres adatokat is képes kezelni [18].

A szoftverbe bele lehet tenni rengeteg térképet, amikkel aztán majd a későbbiekben, dolgozhatunk. A mi esetünkben egyedi térkép készült Magyarország autótújaival (autópályáktól az utcáig) vasúti utakkal, vízrajzzal, belterületekkel és a megyékkel.



23. ábra. térkép elkészítése

A térkép elkészítést követően a már rendezett adattáblát kell a programba illeszteni. Beállításokban be kell állítani az X, Y tengelyeket annak érdekében, hogy a program valós

pozíciókat mutasson a térképre vetés után. Megadható továbbá az is, hogy milyen szimbólumokat használjon, mi pöttyöket használtunk ugyanis ez átláthatóbb, mint más szimbólumok.

idő	sc	rscp	sc_id	EARFCN	PCI	rscp	rscq	lon	lat
12:15:58	24	-67	-3.8	6,400	2	-74.56	-3.97	17.1194	46.9318
12:16:14	24	-68.2	-4.2	6,400	2	-74.31	-3.92	17.1194	46.9318
12:16:21	24	-66.7	-3.4	6,400	2	-74.85	-4.02	17.1194	46.9318
12:16:26	24	-66.5	-2.9	6,400	2	-74.75	-4.19	17.1194	46.9318
12:16:32	24	-64.7	-4.5	6,400	2	-73			
12:16:38	24	-67.2	-4.8	6,400	2	-75			
12:16:49	24	-66.3	-3.5	6,400	2	-75			
12:16:55	24	-64.5	-4.3	6,400	2	-73			
12:17:01	24	-65.8	-4.2	6,400	2	-73			
12:17:12	24	-68	-4.3	6,400	2	-77			
12:17:18	24	-63.7	-3.9	6,400	2	-75			
12:17:30	24	-67.9	-4.4	6,400	2	-75			
12:17:35	24	-68.6	-4.7	6,400	2	-73			
12:17:42	24	-66.6	-4.1	6,400	2	-73			
12:17:48	24	-68.3	-4.6	6,400	2	-74			
12:17:54	24	-66.9	-3.8	6,400	2	-74			
12:18:05	24	-69.4	-4	6,400	2	-74			
12:18:11	24	-65.5	-3.3	6,400	2	-76			
12:18:17	24	-67.6	-3.3	6,400	2	-75.04	-3.78	17.1194	46.9318
12:18:23	24	-66.6	-6.5	6,400	2	-74.74	-4	17.1194	46.9318
12:18:28	24	-66.5	-3.9	6,400	2	-74.75	-4.39	17.1194	46.9318
12:18:40	24	-67.6	-3.5	6,400	2	-76	-8.88	17.1194	46.9318
12:18:46	24	-64.8	-3.4	6,400	2	-74.55	-9.04	17.1194	46.9318
12:18:58	24	-66.5	-4	6,400	2	-75	-9.03	17.1194	46.9318
12:19:03	24	-66.2	-4.5	6,400	2	-74.5	-9.02	17.1194	46.9318
12:19:10	24	-64	-2.6	6,400	2	-74.5	-6.96	17.1194	46.9318
12:19:22	24	-65.5	-2.8	6,400	2	-75.2	-8.91	17.1194	46.9318
12:19:27	24	-67.9	-3.4	6,400	2	-75.04	-9.02	17.1195	46.9318
12:19:33	24	-67.7	-3.8	6,400	2	-74.99	-8.97	17.1195	46.9318
12:19:39	24	-65.7	-4.1	6,400	2	-74.87	-8.97	17.1195	46.9318
12:19:45	24	-66.7	-2.3	6,400	2	-74.57	-4.06	17.1194	46.9318
12:19:50	24	-69.5	-4.4	6,400	2	-75.35	-4.09	17.1194	46.9318
12:19:56	24	-66.5	-4	6,400	2	-74.55	-3.99	17.1194	46.9318
12:20:02	24	-66.8	-4.5	6,400	2	-74.11	-3.93	17.1194	46.9318
12:20:14	24	-67.8	-4	6,400	2	-74.87	-4.32	17.1195	46.9318

Create Points

Create Points for Table: DRIVETEST

using Symbol:

Get X Coordinates from Column: lon

Get Y Coordinates from Column: lat

Multiply the X Coordinates by: 1

Multiply the Y Coordinates by: 1

☒ Display non-numeric fields

☐ Overwrite existing points

OK

Cancel

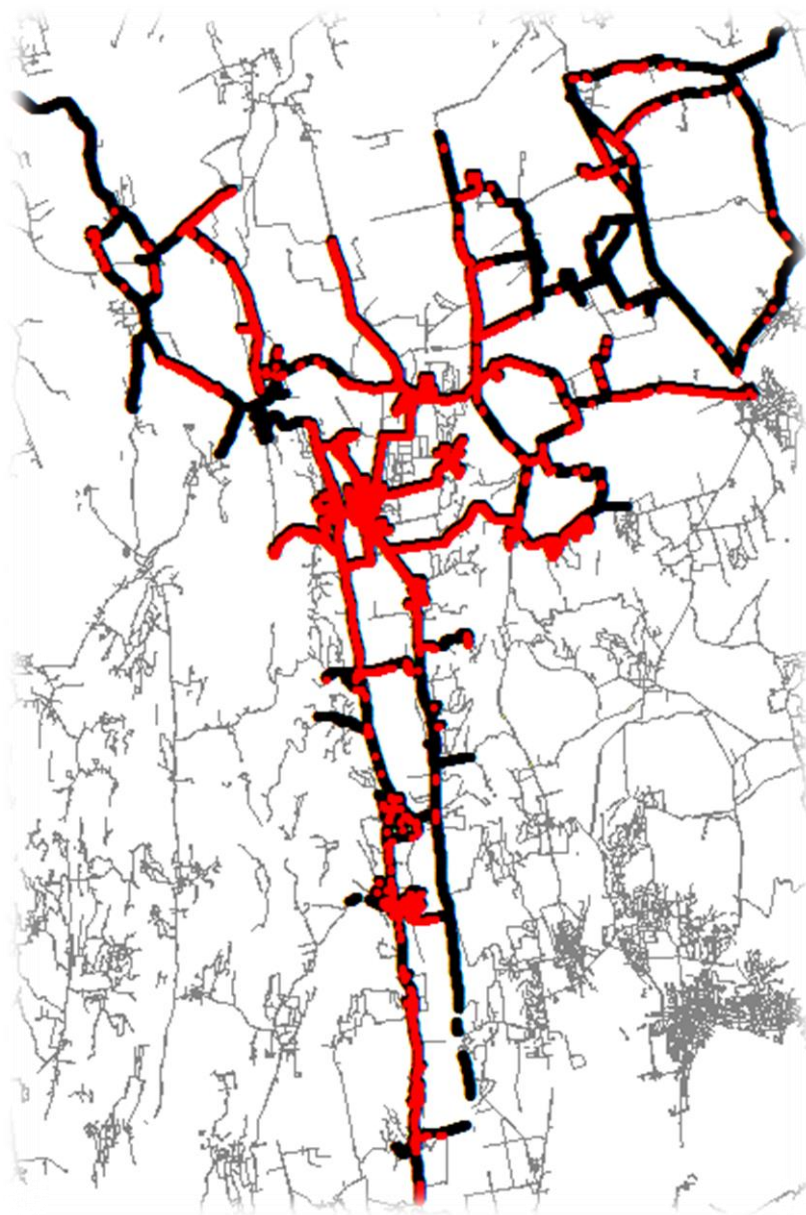
Projection...

Help

24. ábra. rendezett adattábla

5.4 LTE 800 MHz és UMTS 900 MHz drive teszt

A méréseket Zalaszentgrót térségében végeztük, ahol együtt dolgozott az UMTS 900-as bázisállomás illetve az LTE 800-as. Az ábrán a pirossal jelölt területeken, mind a két bázisállomás jeleit fogni lehetett, viszont a fekete utakon csak az LTE 800-at lehetett venni, ahogy ezt az elméleti modellek is megjósolták.



26. ábra. LTE 800 és UMTS 900 drive teszt [20]

A drive teszt alapján elmondható, hogy az LTE 800 az 2,4 x nagyobb lefedettséget eredményez mint az UMTS 900-as.

5.5 LTE 800 MHz és LTE 1800 MHz drive test

Ebben a mérésben az LTE 1800-at illetve az LTE 800-at vetettük össze Budapesten. Rózsaszínnel jelöltem azokat a területeket, ahol mind LTE 800 mind pedig LTE 1800 megtalálható és feketével azt ahol csak LTE 800-at mértünk. Szemmel láthatóan sokkal nagyobb területet fed le az LTE 800, de mint majd azt a későbbiekben látni fogjuk az adatsebességek eltérőek lesznek ugyan azon pontokban a két technikát tekintve.



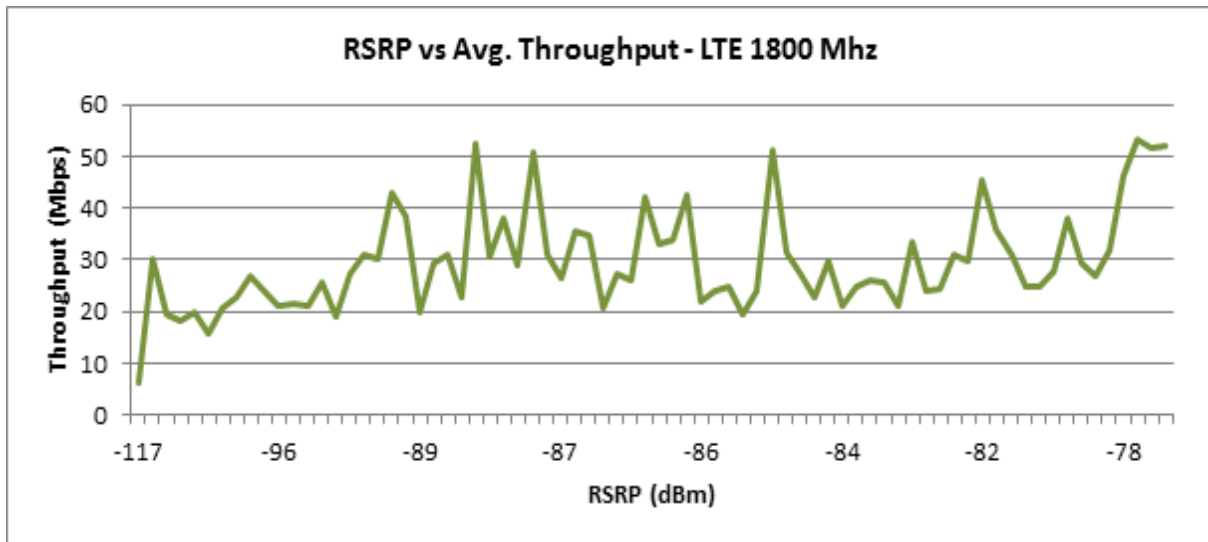
28. ábra. LTE800 és LTE1800 drive teszt [20]

Lefedettséget tekintve itt 6,4 x nagyobb területet fed le az LTE 800, mint az LTE 1800. A két technikát nézve elmondható hogy az LTE 1800 MHz kisebb kiterjedésű, nagyobb kapacitást követelő területeken jól alkalmazható, az LTE 800 MHz-en működő változata pedig inkább a Suburban területeken.

5.6 Adatsebességek alakulása

LTE 1800

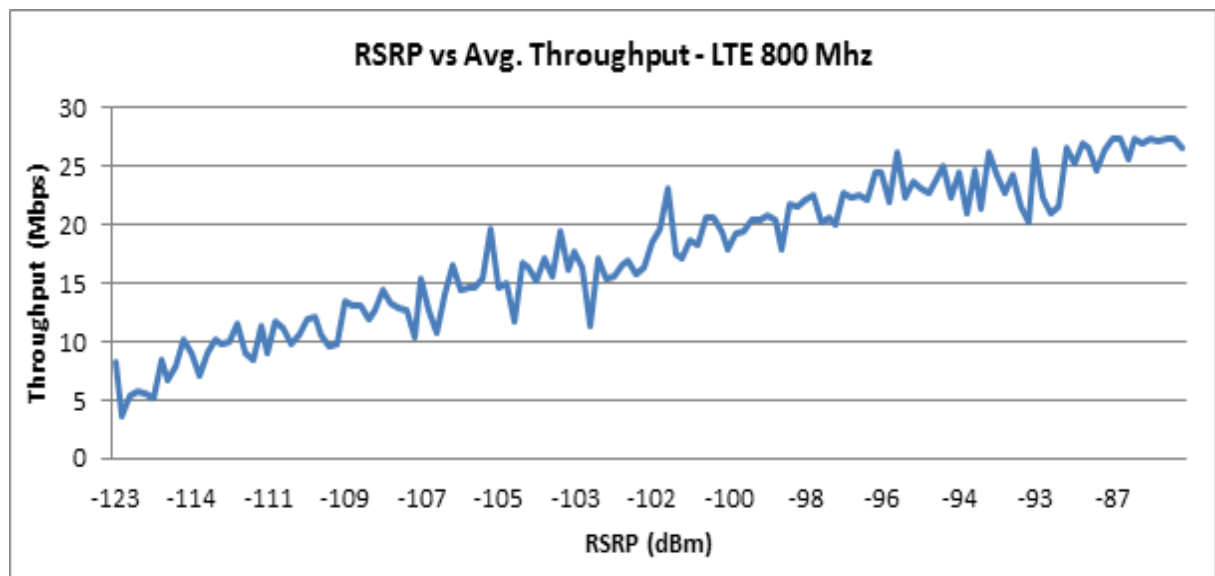
Mérésünk ideje alatt élőhálózatban mértük az LTE 1800-at és érvényben volt egy 60 Mbps-os limitáció a felhasználók Downlink irányú forgalmában. Megtévesztő lehet az 53 Mbps-os maximális adatsebesség, de ne felejtsük el, hogy ellentétben az LTE 800-al itt 20 Mhz a sávszélesség



29. ábra. LTE 1800 adatsebessége [20]

LTE 800

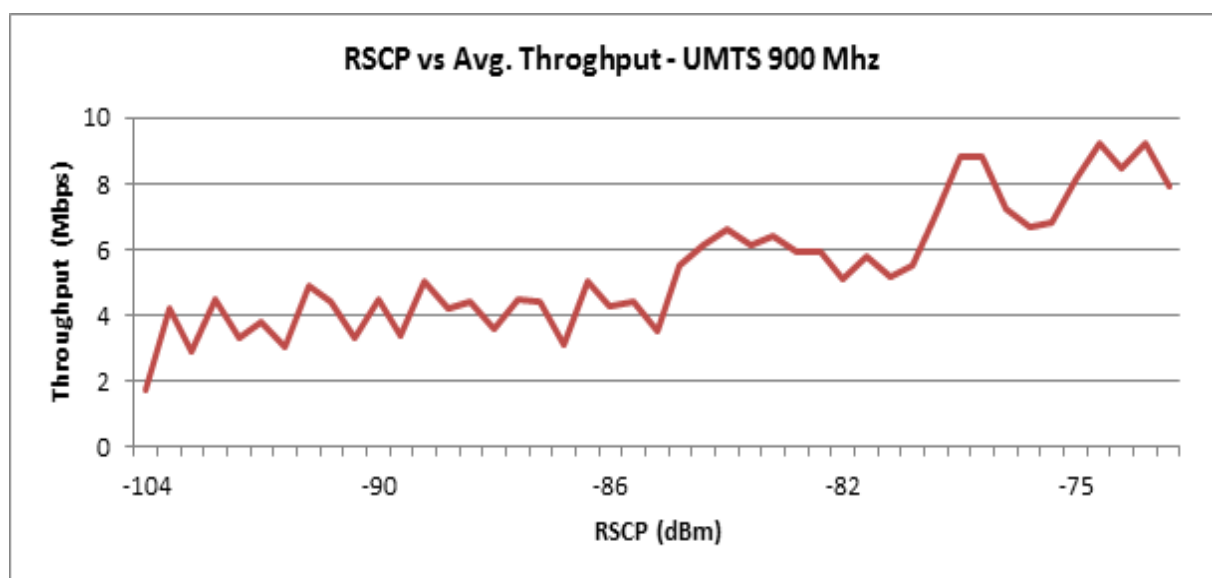
Teszthálózatunkban az LTE 800-ban csúcsként 27 Mbps-ot mértünk cella határon pedig 5 Mbps körüli értéket. 10 Mhz-es sávszélességet használva, nem tekinthetők rossz eredménynek ezek az értékek, viszont fontos megjegyezni, hogy a hálózaton belül a mérőműszereken kívül más UE- nem tartózkodott. Feltehetőleg ezek az adatsebességek romlani fognak a felhasználók számának növekedésével.



30. ábra. LTE 800 adatsebessége [20]

UMTS 900

4,2 Mhz Sáv szélességen működik ugyan, ami a 3 technika közül a legkisebb, és élőhálózatban mértük, de ezek ellenére is elmondható, hogy a 8 Mbps-os Downlink sebessége még mindig kevésnek számít az LTE 800-hoz képest.



31. ábra. UMTS 900 adatsebessége [20]

VI. Irodalom Jegyzék

- [1] Moray Runney: SC-FDMA – the new LTE uplink explained, 20 th March 2008
URL: http://www.3g4g.co.uk/Lte/LTE_SCFDMA_Pres_0803_Agilent.pdf
- [2] Wikipedia – List of device bandwidth
URL: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_device_bandwidths
- [3] Forstner Bertalan, Ekler Péter, Kelényi Imre: Bevezetés a mobilprogramozásba 2008
- [4] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld and Per Beming :
3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband, Academic Press, 2007
- [5] Per Beming, Lars Frid, Göran Hall, Peter Malm, Thomas Noren, Magus Olsson and Göran
Rune: LTE-SAE aechitecture and performance, Ericsson 98 Review No. 3, 2007
- [6] 3GPP Long Terem Evolution –Radio Electronics.com
URL: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>
- [7] LTE Performance – Motorola
URL: <http://business.motorola.com/experiencelte/lte-depth.html>
- [8] Jim Zyren: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer
URL: http://www.freescale.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf
- [9] URL: <http://lteforstarters.wordpress.com/2012/09/04/lte-frequency-bands/>
- [10] Kimio Watanabe, Mamoru Machida: Outdoor LTE Infrastructure Equipment (eNodeB)
- [11] URL: <http://www.4gamericas.org/>
- [12] Sándor Balázs Negyedik generációs mobil rendszerek vizsgálata szakdolgozat
- [13] Wolf Péter A rádiófrekvenciás paraméterek és felhasználói adatsebesség kapcsolata LTE hálózatokban szakdolgozat
- [14] URL: www.3gpp.org

- [15] Kelvin Lienehan, Julius Robson: What base station antenna configuration is best for LTE-Advanced?
- [16] URL: http://www.ercom.fr/macrocell_enodeb_vendor/28-123
- [17] Simon R. Saunders, Alejandro Aranón-Zavala Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems
- [18] URL:
<http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/havas/3fejezet.pdf>
- [19] Telenor Magyarország Zrt.
- [20] LTE800 trial project summary

VII. Ábra-, Táblázatjegyzék

1. ábra – Mobiltechnológiák alakulása
2. ábra – Mobiltechnológiák életpályái
3. ábra – LTE elméleti sebességek 4X4 MIMO technológiával
4. ábra – Vezetékes és vezeték nélküli átviteli rendszerek képessége és mobilitása
5. ábra – Maghálózatok
6. ábra – eNodeB
7. ábra – OFDM jel
8. ábra – Ciklikus Prefix
9. ábra – SC-FDMA és OFDMA képe
10. ábra – Adatsebességek elméleti alakulása MIMO rendszerben LTE
11. ábra – Keretszerkezet LTE -ben
12. ábra – LTE erőforrás blokk
13. ábra – Downlink irányú csatornák
14. ábra – Uplink irányú csatornák
15. ábra – Cella méretek
16. ábra – cellaméretek változása a frekvencia függvényében
17. ábra – QualiPoc S III
18. ábra – QualiPoc mérés
19. ábra – Műszer TSMW
20. ábra – mérési adatok feldolgozása
21. ábra – térkép elkészítése
22. ábra – rendezett adattábla
23. ábra – LTE 800 és UMTS 900 drive teszt
24. ábra – LTE800 és LTE1800 drive teszt
25. ábra – LTE 1800 adatsebessége
26. ábra – LTE 800 adatsebessége
27. ábra – UMTS 900 adatsebessége

1. táblázat – LTE működési frekvenciák
2. táblázat – táblázat hullámterjedések
3. táblázat – vizsgált eszközök paraméterei