# TDK DOLGOZAT

Béres Roland
Budapest
2012.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
Budapest

# MOBILHÁLÓZATOK ENERGIATAKARÉKOS ÜZEMELTETÉSE

**TDK DOLGOZAT**

Készítette: Béres Roland

Konzulens: Dr. Cinkler Tibor PhD, Egyetemi docens

Budapest
2012.

# Tartalomjegyzék

**Bevezetés** ..... **1**
**1. Mobil kommunikáció** ..... **3**
1.1 A kezdetek ..... 3
1.2. Második generációs rendszerek, GSM ..... 3
1.3 Harmadik generációs rendszerek, UMTS ..... 4
1.4 A negyedik generációs rendszerek, LTE ..... 4
1.5 Hálózatok felépítése, a cellás-elv ..... 5
1.6 Hívásátadás, „lélegző cellák” ..... 6
1.7 Vertical Handover bemutatása ..... 7
1.8 Heterogén hálózatok közötti átjárhatóság ..... 8
1.9 Fogyasztás, motiváció ..... 9
**2. A szoftver bemutatása** ..... **11**
2.1 Alkotóelemek ..... 11
2.1.1 Mobil bázisállomások ..... 11
2.1.2 Mobil állomások ..... 13
2.1.3 Szimulációs környezetek ..... 13
**3. Program működése és az algoritmus részletes leírása** ..... **18**
3.1 A hálózat működése ..... 18
3.2 Mozgó mobil állomások ..... 18
3.3 Kapcsolódás ..... 20
3.4 Hívásátadás ..... 21
3.5 „Lélegző cellák” ..... 21
3.6 Fogyasztás ..... 21
**4. Szimulációk futtatása** ..... **24**
4.1 Fix számú mozgó mobil állomás ..... 25
4.2 Növekvő számú mozgó mobil állomás ..... 28
4.3 Napi szimuláció online statisztikák alapján ..... 31
**5. Összegzés, kitekintés** ..... **32**
**Függelék** ..... **33**
**Irodalomjegyzék** ..... **37**

# Bevezetés

A mai világban már hosszú évek óta cél és kihívást jelentő feladat, hogy ahol lehet, javítsuk az energiafelhasználás hatékonyságát és csökkentsük az energiafogyasztását. Nincs ez másként a mobilszolgáltatóknál sem. Tekintettel arra, hogy egy ilyen cég országszerte több ezer adótoronnyal (bázisállomás) rendelkezik a megfelelő intézkedések végrehajtása hosszú távú vállalkozásnak ígérkezik. Az elsődleges cél ezen állomások magas villamosenergia-fogyasztásának csökkentése, mivel ez mintegy háromnegyedét teszi ki a teljes energiafogyasztásának. Azonban az első lépés minden energia-menedzsment törekvést megelőzően a pontos ismeretek megszerzése az energiafogyasztás minden aspektusáról és a legnagyobb energiaigényű műszaki rendszerek működéséről.

A dolgozatom első fejezetében bevezetem az olvasót a mobil kommunikáció világába. Röviden bemutatásra kerülnek az általam használt mobil technológiák, a GSM, az UMTS és az LTE működése, valamint a szimuláció működése szempontjából fontos jellemzőik. A továbbiakban részletesebben kitérek a mobil bázisállomások közötti hívásátadási technikákra, valamint az UMTS hálózatokban használt „lélegző cellák” fogalmát is áttekintem. A szimulációmban alkalmazott Handover technikákra részletesen kitérek, mert ennek ismerete elengedhetetlen az alkalmazott módszerek megértéséhez. Végül a fejezet zárásaként a jelenlegi rendszerek fogyasztására is kitérek és ezáltal felvázolom a módszerek alkalmazásának főbb motivációit is.

A második fejezetben a szimulációhoz használt szoftver bemutatásával foglalkozok. Részletesen bemutatom a szoftver felépítését, az egyes alkotóelemek szerepét és jellemzőit.

A következő fejezet az algoritmus részletes leírását tartalmazza, itt kitérek az alkalmazott megoldásokra és bővebben kifejtem az egyes lépéseket. Ez a munkám érdemi része és ez által válik átláthatóvá a szimuláció alapjául szolgáló gondolatmenet és az egyes elemek működése.

Ezt követően a negyedik fejezetben a szoftverrel végzett szimulációkat részletezem. Célom volt állandó, növekvő és csökkenő számú mobil állomással elvégezni a méréseket, valamint napszakokat szimulálni, amelyekben időről időre változik a hálózat terhelése. A bemenetek ismertetése mellet a kapott eredményeket is felvázolom táblázatos és grafikonos formában is.

Végezetül az utolsó fejezetben összefoglalom az általam ajánlott megoldás előnyeit és hátrányait a kapott eredmények fényében, valamint vizsgálom a modellben rejlő további lehetőségeket. A fejlesztés rövidtávú konkrét céljait is kitűzöm.

Célom egy meggyőző erejű bizonyítékot adni az általam javasolt módosítások hatékonyságáról és gazdasági, környezetvédelmi hatásairól.

Olyan módszer kidolgozására törekszek, amely képes csökkenteni a mobilszolgáltatók hálózatainak villamosenergia-fogyasztását azáltal, hogy hatékonyabbá teszi a bázisállomások működését.

# 1. Mobil kommunikáció

## 1.1. A kezdetek

Az első generációt a mobil távközlés hőskorát jelentő analóg technológiájú rendszer jelentette. Ennek hátterét a 450 vagy 900 MHz-es NMT rendszerek szolgáltatták.

## 1.2. Második generációs rendszerek, GSM

A második generációs, már digitális cellás rádiótelefon rendszer a hangátvitel mellett már keskenysávú adatátvitelre is alkalmas volt. A GSM rendszer eredeti változatának adatátviteli képességes azonban csak korlátozott adatátvitelt tesz lehetővé. Ilyen adatátviteli szolgáltatások például az SMS, illetve a kissebességű Internet hozzáférés (WAP).
A nagyobb adatátviteli igények szükségessé tették a GSM rendszer továbbfejlesztését, a nagyobb adatátviteli sebességet biztosító csomagkapcsolt módozatok (GPRS, EDGE) kifejlesztését.

GSM szolgáltatások:

- beszédátvitel
- SMS (Short Message Service, rövid szöveges üzenet szolgáltatás)
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data, nagy sebességű áramkörkapcsolt adatátvitel)
  43,2, 57,6 kb/s a jellemző sebességértékek, amit több 14,4 kb/s csatorna összefogásával értek el.
- EMS (Enhanced Messaging Service, kibővített üzenetküldő szolgáltatás)
  Egyszerűbb képüzenetekkel kiegészítve.
- MMS (Multimedia Messaging Service, multimédia üzenetküldő szolgáltatás)
  Multimédia üzenet: kép, írott szöveg, hang együtt
- WAP (Wireless Application Protocol, vezetéknélküli alkalmazás protokoll)
  leegyszerűsített Web-szerű alkalmazás
- GPRS (General Packet Radio Service, általános csomag alapú rádiós szolgáltatás)
  Sebessége tipikusan 60-80 kb/s lefele, 20-40 kb/s felfele. Mai felhasználási lehetőségei a wap és internet elérés.
- EDGE (Enhanced Data Rate for Global/GSM Evolution, továbbfejlesztett adatsebesség a globális/GSM fejlődésért)

Mára már 150-180 kb/s sebességet is lehetővé tesz, de hátrány a rossz jel/zaj viszony, emiatt csak a bázisállomás közelében használható jól.

A GSM rendszer - még továbbfejlesztett módozataival együtt is - egyre kevésbé tudja kielégíteni a folyamatosan növekvő adatátviteli igényeket, elérte technikai lehetőségeinek határait. Ennek nyomán született meg a mobil rendszerek harmadik generációja, amely új technológiai alapokon állva, korszerű, nagy kapacitású és frekvencia-hatékony mobil kommunikációs lehetőséget biztosít.

## 1.3. Harmadik generációs rendszerek, UMTS

A 3G technológia előnye, hogy az alkalmazások eddig nem látott széles körét biztosítja a felhasználók részére, mint például a videotelefonálást, e-kereskedelemet, video-on-demand-ot vagy az online vásárlásokat, valamint támogatja a mobil Internetet és más multimédiás szolgáltatásokat.

UMTS szolgáltatások:

- beszédátvitel
- adatátvitel, Internet elérés
- városban tipikus max. 384 kb/s, vidéken tipikus max. 144 kb/s, helyi rendszerben max. 2 Mb/s
- multimédia szolgáltatások
- tv nézés, videotelefon
- értéknövelt szolgáltatások
- chat, játékok, zene letöltése, helyhez kötött szolgáltatások (például térkép)
- HSPA (High-Speed Packet Access, nagy sebességű csomagkapcsolt hozzáférés)
  UMTS továbbfejlesztése a nagyobb adatsebesség elérése érdekében. (14 MB/s le, 5,76 MB/s fel)

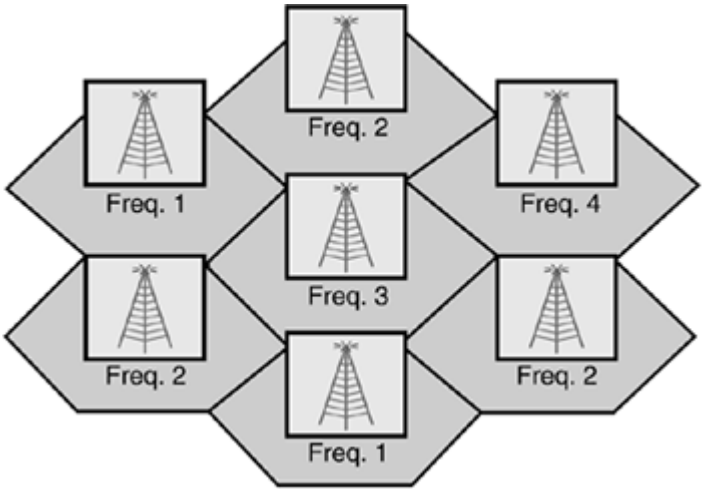
## 1.4. A negyedik generációs rendszerek, LTE

Ez a fejlődés következő lépése: LTE (Long Term Evolution, „hosszú távú fejlődés”) Teljesen új szabvány, amellyel akár 326/86 MB/s adatátviteli sebességet is elérhetünk. Az egyik legfontosabb pont a teljes egészében IP-alapú gerinchálózat, amely egészen új lehetőséget nyit meg a mobil kommunikációs szolgáltatások világában.
Ezzel újabb lépést teszünk az NGN (Next Generation Network) felé, amely egy csomagkapcsolt, az IP-n alapuló, többszolgálatú, szélessávú, garantált

szolgáltatásminőséget nyújtani képes átviteli hálózat, mely a többszolgálatú hozzáférési hálózaton keresztül egyaránt támogatja a vezetékes és vezeték nélküli, a helyhez kötött és mobil szélessávú alkalmazásokat. Az NGN a szolgáltatók által üzemeltetett hagyományos távközlő hálózatok helyébe lépő hálózat, amely minden tartalmat továbbítani tud majd.

## 1.5. Hálózatok felépítése, a cellás-elv

A mobiltelefon rendszereknél alkalmazott úgynevezett celluláris technika egyszerűsített lényege, hogy az ellátandó területet kisebb területekre, azaz cellákra osztják fel azért, hogy a rendelkezésre álló frekvenciák - lehetőleg egymás zavarása nélkül, kellő cellatávolságban - ismételten felhasználhatók legyenek.




1. ábra: GSM cellák
Forrás: http://www.ss7-training.net/sigtran-training/ch12lev1sec1.html

A cellák egy-egy adó-vevő állomás (Base Station - bázisállomás) sugárzási körzetét jelentik. Egyenletesen, 360-os szögben sugárzó körsugárzó antenna esetén - elvi megfontolásokból - egy, a bázisállomás köré képzelt hatszög adja a cella határait. A gyakorlatban inkább 120 fokos szektorsugározó antennát használnak, amely ebben az esetben három cella találkozásának csúcspontjában helyezkedik el. Ebben az esetben minden cella két 60 fokban sugárzó adóantennát és két 60 fokba osztott vevőantennát használ. Azon szomszédos cellák csoportjait, amelyekben a képzeletbeli hatszög oldalai mentén az összes frekvenciát felhasználhatjuk clusternek nevezzük.

A cellás hálózatok tervezésének jól kialakult elmélete és gyakorlata van. Mindemellett a mobil szolgáltatók számára jelentős probléma a rendelkezésre álló frekvencia tartomány korlátozottságán túlmenően, a földreflexiók, valamint az átviteli út mentén lévő terepakadályok okozta

járulékos csillapítások, amelyek csökkenthetik a szolgáltatási terület fizikai méreteit. A cellák méretét tervezői döntés alapján határozzák meg, amely az adott tartományon belül függ a használt frekvenciától, a forgalomsűrűségtől, valamint fontos szempont a fent említett terjedési viszonyok vizsgálata is.
Egy adott cellában mozgó, mobiltelefont használó előfizető a cella teljes területén állandó kapcsolatban van a bázisállomással, mozgás közben bárhol tud hívást kezdeményezni vagy fogadni. A mozgó előfizető szempontjából fontos követelmény, hogy a felépített összeköttetés cellahatárok átlépésekor ne szakadjon meg, a bázisállomások észrevétlenül adják át egymásnak a mozgó mobiltelefon felügyeletét. Ha a mobil végberendezés átmegy egy másik cellába, akkor átadás (handover v. handoff) történik.

Források: [1]

## 1.6 Hívásátadás, „lélegző cellák”

Ezt a hívásátadást nevezzük Horizontal Handover-nek. Ilyenkor ugyanazon hálózat két, földrajzilag elkülönülő hozzáférési pontja között történik a váltás. Átadás közben nem szakad meg a kapcsolat, tehát az előfizető semmit sem vesz észre a cellaváltásból.

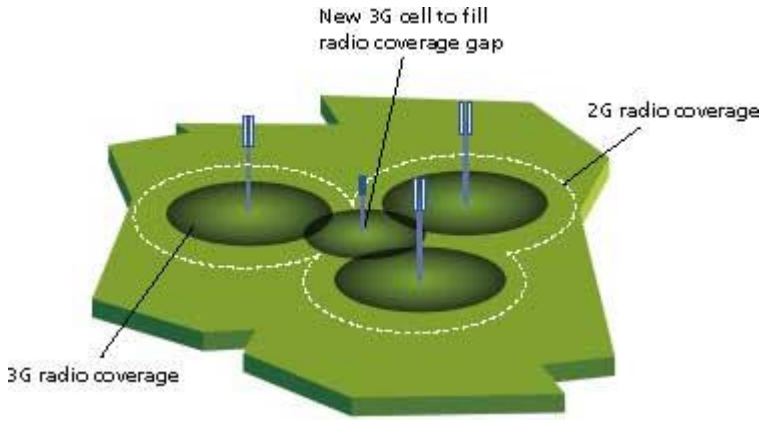
Az átadás elvileg történhet:

- A mobil végberendezés irányításával:
  Méri, mikor erősebb egy másik cella jele.
- A hálózat irányításával:
  A hálózat dönt a jelerősség és esetleg más információk (pl. cella terheltsége) alapján.
- A hálózat irányításával, a mobil készülék segítségével:
  A hálózat megkéri a végberendezést, hogy küldjön jelerősségi információt, de a döntést a hálózat hozza. Így például egy leterhelt cellába csak később lépteti be a hálózat az oda közeledő végberendezést.

Az átadás módja eltérő lehet GSM és UMTS rendszerek esetén is.
A GSM az úgynevezett „kemény hívásátadást” (hard handover) használja. Ebben az esetben a cellák határán mozgó előfizető egyik pillanatban az egyik bázisállomással, a következő pillanatban pedig már egy másik állomással kommunikál. Az átadás olyan gyorsan történik, amilyen gyorsan csak lehet.

Az UMTS rendszerek „puha hívásátadást” (soft handover) alkalmaznak, ami azt jelenti, hogy a készülék a cellahatáron adott pillanatban több (maximum 3) bázisállomással is kommunikál egy időben. A le irányú adatot minden bázisállomás sugározza, tehát a mobilkészülék többször is megkapja, így adatvesztés esetén másik forrásból pótolhatja az elveszett csomagokat. A fel irányú adatot minden bázisállomás megkapja, a hálózat ezekből építi fel a kommunikáció, így adatvesztés esetén könnyen korrigálhatunk a másik cellákból vett adatokkal. Ez az állapot viszonylag sokáig fennmaradhat.

UTMS kapcsán meg kell ismerkedni a „lélegző cellák” fogalmával. Mivel az UMTS technológia kódosztásos többszörös hozzáférést alkalmaz, ezért az átvitt forgalom és a lefedett terület mérete összefügg. Nagyobb átvitt forgalom nagyobb interferenciát jelent, ami az ellátott terület csökkenéséhez vezet. Ez az ún. „lélegző” cellák jelensége. Ilyenkor a megnövekedett forgalom miatt az ellátott terület nagysága csökken és a távolabbi mobilok kikerülnek a lefedettség alól. Előrelátó tervezői döntésekkel és megfelelő átlapolásokkal elérhető a kiszolgálás fenntartása és a technika így egyfajta terhelés-elosztást jelent.




2. ábra: „Lélegző cellák”
Forrás: http://www.scotland.gov.uk/Publications/2001/09/pan62/pan62-

Források: [2]

## 1.7. Vertical Handover bemutatása

A hívásátadás másik fajtájáról akkor beszélünk, amikor egy helyen egymás fölött párhuzamosan többfajta hozzáférési hálózat érhető el, és ezek között történik a hívásátadás. Ezt nevezzük Vertical Handover-nek. Fizikailag nem, de hálózati szempontból ekkor is mozgunk, tehát a mobilitás fogalmába már a heterogén hálózatok közötti átjárást is beleértjük.

A mai mobil készülékek egyre több hozzáférési technológiát alkalmaznak, egy okostelefon például már többféle vezeték nélküli interfésszel rendelkezik, melyen keresztül kapcsolódhat a világhálóhoz. Jogos tehát az igény, hogy az egyes technológiák előnyeit és hátrányait is figyelembe véve, mindig a számunkra legkedvezőbb kapcsolaton keresztül kommunikáljunk.

Forrás: [3]

## 1.8. Heterogén hálózatok közötti átjárhatóság

A különböző hozzáférési technológiák egyszerű átjárhatóságának legnagyobb akadálya az IP protokoll tervezési hiányossága. A gondot az IP cím okozza, amely kettős szerepet lát el:

- egyedi azonosító
- helyzetinformációt hordoz

A mobilitás világában, így a heterogén hálózatok közötti átváltás esetén sem szerepelhet egy kalap alatt a két fogalom, hiszen amikor mozgunk, akkor az egyedi azonosítónk nem tudja megmondani hol is vagyunk, ellenben ha helyzetinformációt tudunk nyújtani, nem lehet ez az egyedi azonosítónk. A mobilitással együtt járó IP címváltozás kezelésére különböző OSI rétegekben fejlesztettek ki megoldást.
Az OSI modellben a rétegek elég lazán vannak definiálva, ebből adódóan felmerülhetnek problémák. Például léteznek szolgáltatások, mint például a mobilitás is, amelyek nem tartoznak egyértelműen egyik réteghez sem, több helyen is megvalósíthatóak.
Az átjárhatóságot megvalósító rendszereknek három alapvető követelményt kellene kielégíteniük:

- Átlátszó átvitel:
  A váltás ne okozzon „nagy” adatvesztést, a váltás ne tartson sokáig és a hosszú távú kapcsolat orientált protokollokat használó programok zavartalanul futhassanak tovább.
- Lokáció menedzsment:
  A heterogén hálózatok között mozgó eszköznek mindvégig elérhetőnek kell lennie egy statikus azonosító segítségével függetlenül attól, hogy helyileg éppen hol van.
- Infrastruktúra mentesség:
  Minél jobban a hálózat „szélén” van a megvalósítás, annál kevesebb változtatásra van szükség a jelenlegi hálózatokban.

Forrás: [3]

## 1.9 Fogyasztás, motiváció

A kommunikációs hálózatok legnagyobb energia felhasználója a technológia. A mobilhálózatok esetében a technológia alatt a bázisállomásokat értjük, tehát ezek villamos energia fogyasztása összességében a teljes vállalat fogyasztásának ¾-ét teszi ki.

Számokban ez azt jelenti, hogy a Magyar Telekom Csoport 2009-es fenntarthatósági jelentése alapján a vállalat villamos energia felhasználása a 2009-es évben 282 GWh volt, amely az újabb és újabb bázisállomások telepítésével évről évre növekszik. A 2011-es jelentésben látható, hogy ez a szám tovább növekedett, de a 2010-es értékhez képest sikerült csökkenést elérni. Ennek oka, hogy a szolgáltatók kiemelt figyelmet fordítanak az energiafogyasztás megfelelő szinten tartására.

A Magyar Telekom Csoport jelentése szerint 2009-es év előtti éveket alapul véve évente átlagosan 400 új bázisállomás kerül telepítésre, amely a 2009-es fenntarthatósági jelentés szerint már akkor túllépte a 4700-at.

Ezekből az adatokból kiszámolható, hogy egy bázisállomás átlagosan 5-7 KWh teljesítményt igényel.

Minden szolgáltató egyik fő célkitűzésének ezen energiafogyasztási mutatók csökkentése. A megvalósításhoz szükséges korszerű berendezések és technológiák alkalmazása szükséges, amelyek nemcsak a vállalatok bevételeit növelhetik, de jelentősen hozzájárulhatnak a környezet védelméhez és az energiaforrások optimálisabb kihasználásához is. A szolgáltató cégek vezetői is felismerték ennek fontosságát, így jelentős összegeket fektetnek be a már meglévő technológiák és eszközök alkalmazására és további fejlesztésekre.

Néhány példa az energiafelhasználás hatékony csökkentésére:

- hálózati központok összevonása, régiek megszüntetése
- az informatikai struktúra hatékonyabbá tétele, új, környezetbarát eszközök vásárlása
- a 2G berendezések 3G berendezésekre történő cseréje alacsonyabb energiafelhasználást eredményez
- számos bázisállomáson bevezetésre került a szabadlevegős hűtés
- a bázisállomások töltőmoduljainak száma is optimalizálásra került

- megjelentek az úgynevezett önfenntartó bázisállomások, melyek villamos energia ellátását teljes mértékben megújuló energiaforrásokból fedezik (szél- és napenergia)
- a bázisállomásokon kísérleti jelleggel alkalmazott PEM-cellás megoldás tovább csökkenti a káros energiafelhasználást

Látszik tehát, hogy minden lehetséges eszköz fejlesztése és vizsgálata jelentős környezetvédelmi és a gazdasági eredményekkel szolgálhat.

Források: [4; 5]

# 2. A szoftver bemutatása

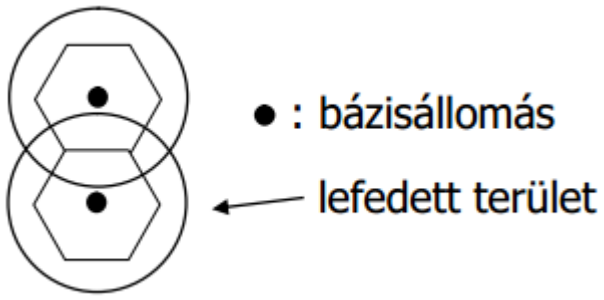
A vizsgálatok elvégzéséhez szükséges szimulációk futtatásához saját fejlesztésű szoftvert használtam. A szoftvert C++ nyelven írtam, OpenGL függvények felhasználásával. Ennek elkészítésekor az alapkoncepció az volt, hogy a szimulációk futtatásához megfelelően paraméterezhető, lehetőleg valós idejű grafikus felülettel rendelkező eszközt kapjak, amiből az eredményeket feldolgozható formában nyerhetem ki.

## 2.1. Alkotóelemek

A szoftver a szimuláció alapjául szolgáló különböző elrendezésű és lefedettségű mobil hálózatok felépítését teszi lehetővé.

### 2.1.1 Mobil bázisállomások

Ezen mobil hálózatok mobil bázisállomásokból épülnek fel, amelyek meghatározott méretű és formájú cellák kiszolgálására alkalmasak. Az egyszerűség kedvéért nem számolok a földrajzi viszonyokkal, hanem minden esetben teljesen sík terepet feltételezek, nincsenek épületek és egyéb akadályok, a jelek terjedését semmi sem gátolja. A cellák formájára és a hozzájuk tartozó bázisállomásokra vonatkozóan szintén leegyszerűsített megoldást alkalmazok. Ezek – az 1. ábrán látható módon – szabályos hatszög alakúak és a bázisállomás a cella közepén helyezkedik el.




3. ábra: Bázisállomások mérete és elhelyezkedése a cellás elv szerint
Forrás: http://w3.tmit.bme.hu/thsz/thsz10.pdf

Egy mobil bázisállomás minden irányban képes jeleket sugározni és minden irányból képes jelek fogadására.

Egy adott koordinátán elhelyezett mobil bázisállomás kiszolgál egy mobil állomást, ha az a mobil bázisállomás körül meghatározott sugarú körön belül helyezkedik el. Az elhelyezkedés tényét a mobil állomás és a mobil bázisállomás koordinátái segítségével kiszámított távolság határozza meg, ha ez kisebb, mint az előre meghatározott sugár, akkor a felhasználó a torony hatósugarán belül van, ezért az kiszolgálja őt. Ebből kiderül az is, hogy másként jelenítem meg a cellát és másként számolok a cellahatárokkal. Ennek oka, hogy – az 1. ábrán is látható módon – a mobil bázisállomás hatósugara túlmutat a cellahatárokon, mert a cellahatáron mozgó mobil állomások kiszolgálásához ez elengedhetetlen. A korábban már említett hívásátadás magyarázatul szolgál ennek a szükségességére.

A szimulációmban a mobil bázisállomások háromféle mobil technológiát képesek a mobil állomás felé kiszolgálni:

- GSM
- UMTS
- LTE

A kiszolgálás akkor valósul meg, ha a már fent említett módon a területre vonatkozó kritériumnak megfelel a mobil bázisállomás és a mobil állomás aktuális pozíciója, valamint az adott mobil bázisállomás képes az adott mobil állomás által igényelt technológia kiszolgálására. A későbbiekben a mobil állomásokra vonatkozó információk részletes ismertetésekor kiderül majd, hogy egy bázisállomás az igénytől eltérő technológiával is kiszolgálhatja a felhasználót, ha nincs lehetőség az igénynek megfelelő kiszolgálásra.

Adott koordinátához rendelhetek több mobil bázisállomást is, de mindegyik csak egy technológia kiszolgálására alkalmas. Ez a valóságban egy adott tornyon elhelyezett különböző technológiákat kiszolgálni képes antennákkal valósul meg.

### 2.1.2. Mobil állomások

A szimulált mobil hálózatot felhasználó mobil állomások elhelyezése a program indításakor történik. A mobil hálózat működésének szimulálása tulajdonképpen ezen felhasználók kiszolgálásának a szimulálását jelenti és az ezzel járó működéshez kötött fogyasztási adatok kinyerése a cél.

Egy mobil állomás meghatározott koordinátával, iránnyal, sebességgel és technológia igénnyel rendelkezik. A koordináta a kiszolgálás területi kritériumának teljesíthetőségéhez használt adat, amely az idő múlásával változhat. A változás mértékét az irány és a sebesség határozza meg.

Adott időpillanatban egy mobil állomás aktuális koordinátája a területi kritériumot oly módon is teljesítheti, hogy több mobil bázisállomás is alkalmas a kiszolgálására. Ennek egyik oka az lehet, hogy a különböző technológiákat sugárzó antennák más-más méretű terület lefedésére alkalmasak, ezért egy közelebb lévő kisebb területet lefedni képes és egy távolabb lévő nagyobb terület lefedésére alkalmas bázisállomás is kiszolgálhatja a mobil állomást. Ilyenkor elsődleges szempont a mobil állomáshoz rendelt technológia igény, ennek segítségével döntöm el, hogy melyik állomáshoz csatlakoztassam.

A mobil állomások működésük során a mobil bázisállomásoknál említett három technológiát igényelhetik.

Egy mobil állomás minden időpillanatban mozog, valamint mindig csatlakozni kíván egy mobil bázisállomáshoz, amely a legalkalmasabb az ő kiszolgálására. Amikor egy mobil állomás eléri a megjelenített felület határát, azaz a koordinátája a meghatározott korlátoktól kisebb vagy nagyobb lesz, akkor teljesen eltűnik. Beállítástól függ, hogy a törölt mobil állomások helyett újat helyezek el a felületen – ezzel állandó szinten tartva a számukat – vagy sem. Utóbbi eset a számuk csökkenésével jár.

### 2.1.3. Szimulációs környezetek

Jelenlegi formájában a programom négyféle szimuláció futtatására alkalmas, amelyek közül a program indításakor lehet választani. Ezek közötti különbség lényegében a szimulált mobil hálózat méretében és a lefedett terület nagyságában mutatkozik.

Az egyszerűség kedvéért a hálózatok kialakításakor a cellaméretekhez is fix számokat rendeltem. A mobil bázisállomások cellamérete az általuk kiszolgálni képes technológia függvényében a következőképpen alakul:

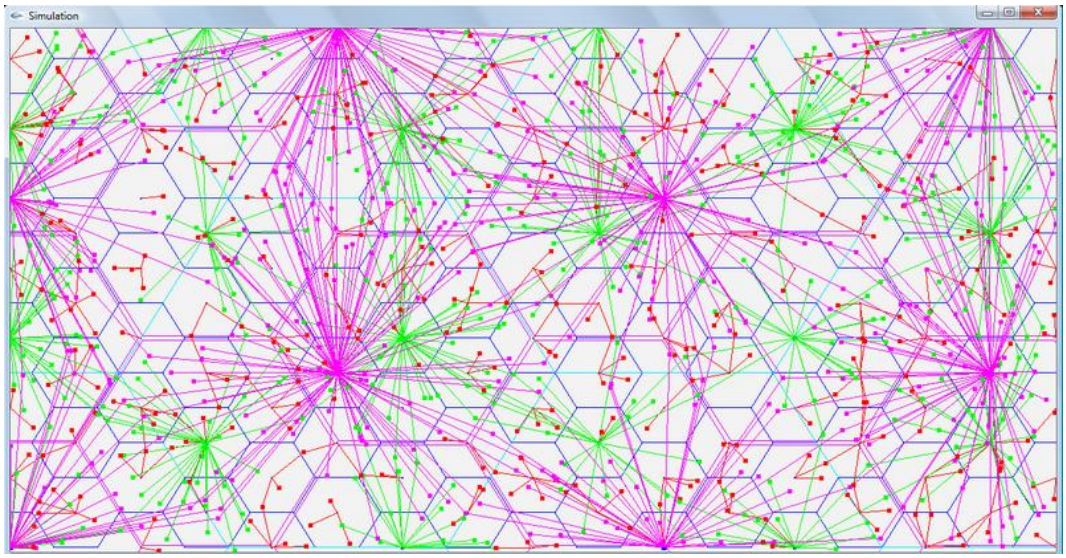
| | kiterjedés [km] | cella / GSM cella |
|---|---|---|
| GSM | 3 | 1 |
| UMTS | 1.3 | 7 |
| LTE | 0.6 | 24 |

1. táblázat: Cellaméretek
Forrás: Saját készítés

## 1. <u>számú szimulációs környezet</u>

Egy nagyjából 4x7 km-es területen minden technológia által teljes lefedettséget nyújtó mobil hálózatot alakítottam ki, amelyen szabályosan helyezkednek el a mobil bázisállomások. (4. ábra)

A valóságban ez egy kisebb város területének felel meg.




4. ábra: 1. számú szimulációs környezet
Forrás: Saját készítés

136 darab LTE, 18 darab UMTS és 8 darab GSM technológia kiszolgálására alkalmas mobil bázisállomást helyeztem el a felületen. A teljes lefedettségből adódóan egy mobil állomás

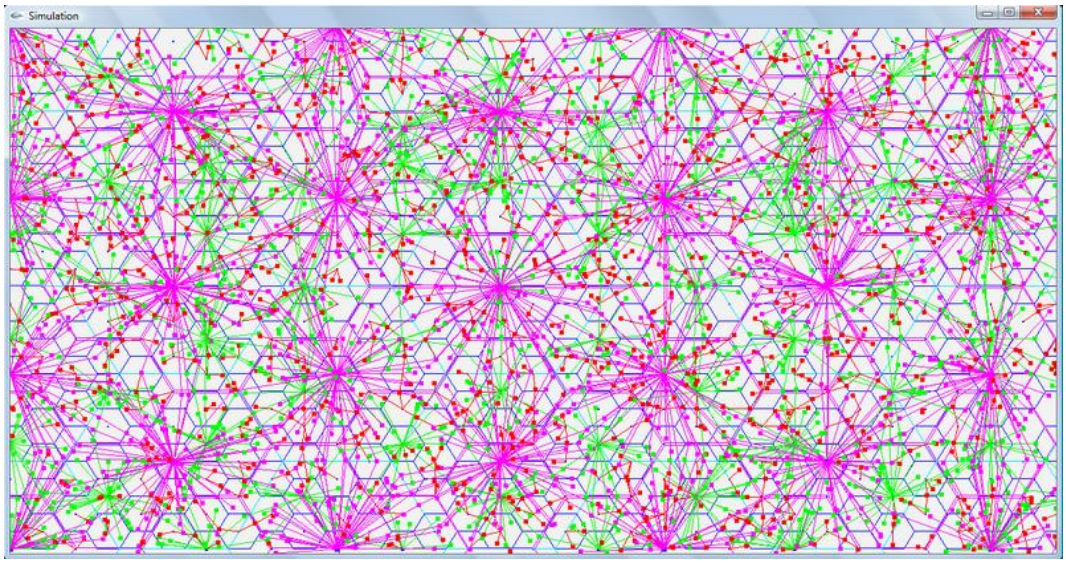
mozgása során minden felvett koordinátán teljesül a kiszolgálás területi kritériuma. Továbbá a teljes technológiai lefedettségből adódóan minden mobil állomás kiszolgálható az általa igényelt technológiával.

Ez a valóságban azt jelenti, hogy a területen mindenki képes telefonálásra, mobil internet használatra és szélessávú mobil internet használatára.

## 2. számú szimulációs környezet

Egy nagyjából 8x14 km-es területen minden technológia által teljes lefedettséget nyújtó mobil hálózatot alakítottam ki, amelyen az első szimulációs környezethez hasonlóan szabályosan helyezkednek el a mobil bázisállomások. (5. ábra)

A valóságban ez egy nagyobb város (>100.000 lakos) területének felel meg.




5. ábra: 2. számú szimulációs környezet
Forrás: Saját készítés

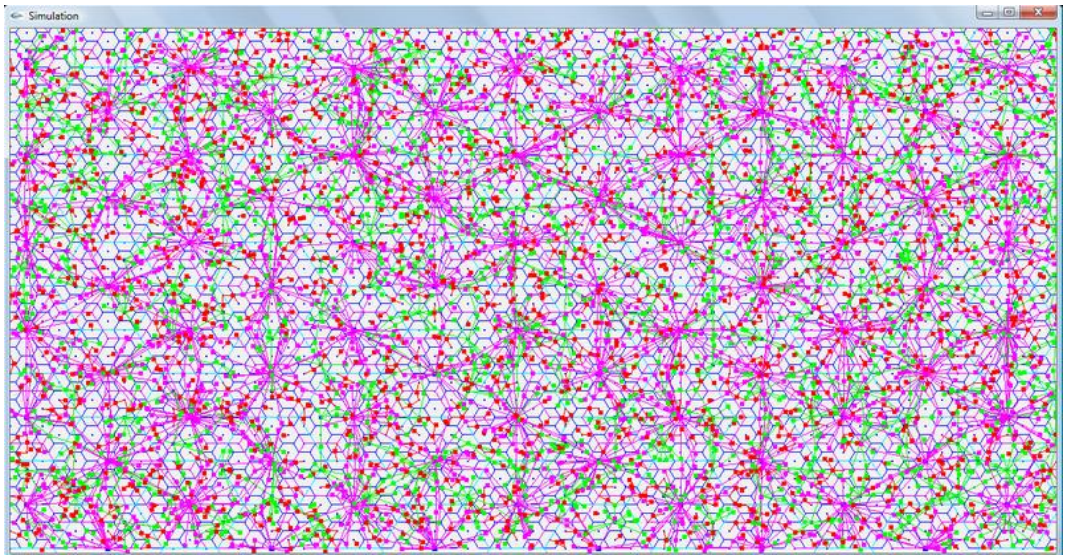
272 darab LTE, 66 darab UMTS és 25 darab GSM technológia kiszolgálására alkalmas mobil bázisállomást helyeztem el a felületen. Itt is a teljes lefedettségből adódóan egy mobil állomás mozgása során minden felvett koordinátán teljesül a kiszolgálás területi kritériuma. Továbbá a teljes technológiai lefedettségből

adódóan minden mobil állomás kiszolgálható az általa igényelt technológiával.

## 3. számú szimulációs környezet

Egy nagyjából 16x28 km-es területen minden technológia által teljes lefedettséget nyújtó mobil hálózatot alakítottam ki, amelyen az első és második szimulációs környezethez hasonlóan szabályosan helyezkednek el a mobil bázisállomások. (6. ábra)

A valóságban ez egy több milliós város (pl. Budapest) területének felel meg.



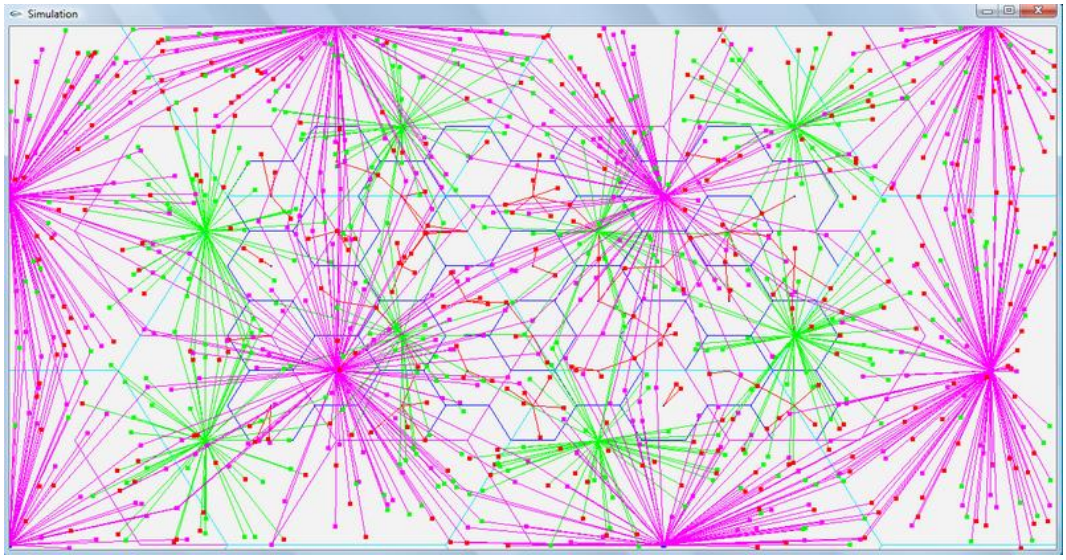

6. ábra: 3. számú szimulációs környezet
Forrás: Saját készítés

1983 darab LTE, 231 darab UMTS és 91 darab GSM technológia kiszolgálására alkalmas mobil bázisállomást helyeztem el a felületen. Itt is a teljes lefedettségből adódóan egy mobil állomás mozgása során minden felvett koordinátán teljesül a kiszolgálás területi kritériuma. Továbbá a teljes technológiai lefedettségből adódóan minden mobil állomás kiszolgálható az általa igényelt technológiával.

## 4. számú szimulációs környezet

Az első szimulációs környezethez hasonló módon egy nagyjából 4x7 km-es területen alakítottam ki mobil hálózatot, de a lefedettség közel sem teljes. (7. ábra)

A valóságban ez szintén egy kisebb város területének felel meg, de a lefedettség kisebb, mint az első szimuláció esetén.




7. ábra: 4. számú szimulációs környezet
Forrás: Saját készítés

36 darab LTE, 10 darab UMTS és 8 darab GSM technológia kiszolgálására alkalmas mobil bázisállomást helyeztem el a felületen.

A szimuláció alkalmas bemutatni azt az esetet, amikor egy mobil állomás olyan területre érkezik, ahol nincs az ő technológia igényét kiszolgálni képes mobil bázisállomás, ezért meg kell elégednie egy „alacsonyabb” szintű technológiával. Ez a valóságban akkor jelentkezhet, ha egy felhasználó szélessávú mobil internetet szeretné használni, de csak alacsonyabb sávszélességet biztosító UMTS technológia áll a rendelkezésére.

A kiszolgálás területi kritériuma itt is minden pontban teljesül.

# 3. Program működése és az algoritmus részletes leírása

## 3.1. Hálózat felépítése

A program induláskor egy parancssor ablakot, valamint egy – a megjelenítéshez használt – grafikus felületet nyit. A grafikus felületen – amely 1200x600 pixel méretű – a négy szimuláció kiválasztására alkalmas gombok jelennek meg, amelyet lenyomva a kiválasztott szimulációs felületre léphetünk tovább.

Itt felépítem a mobil hálózatot előre definiált és tömbben tárolt pontokból, amelyek meghatározzák a mobil bázisállomások helyét, valamint a cellák határait. A bázisállomásokat pontok jelölik, a cellahatárokat pedig egy-egy hatszög oldalai jelenítik meg. A háromféle technológia kiszolgálására képes bázisállomásokat más-más tömbben tárolom, majd a különböző tömbökből kiolvasott értékeket különböző színekkel jelenítem meg:

- LTE kiszolgálására alkalmas cella határa: kék színű
- UMTS kiszolgálására alkalmas cella határa: magenta színű
- GSM kiszolgálására alkalmas cella határa: világos kék színű

Az állomásokat minden esetben kék színnel jelenítem meg, de a különböző technológiák kiszolgálásának tulajdonsága alapján a pont mérete növekszik. (LTE<UTMS<GSM)

## 3.2. Mozgó mobil állomások

Ezek után elhelyezem a felületen az előre meghatározott számú mobil állomást, amelyeket szintén pontokkal jelölök és a koordinátáit tömbben tárolom. Egy input fájlban paraméterként állítható be az állomások száma, amely értéket a program induláskor a fájl beolvasásával érem el.

A mobil állomások többi paraméterét már véletlenszám generálással kapom meg az adott állomást reprezentáló pont tömbbe elhelyezésekor. A kiinduló pozíció x koordinátáját 0 és 1200, az y koordinátát 0 és 600 közötti véletlenszámmal határozom meg. A szimuláció indításkor adott mobil

állomáshoz 0 és 1 közé eső véletlen sebességértéket rendelek mindkét koordinátához, amelyet a szimuláció teljes ideje alatt megtart. Ezeket az értékeket szintén tömbben tárolom el.

Ezáltal egy irányt is kialakítok, amelyet mind az x, mind az y koordináta két adott időpillanat közötti változásának mértéke határoz meg. Ez lényegében a koordinátarendszer x tengelyével bezárt szöget jelenti. A mobil állomás irányának változása ennek a szögnek a +90 fokkal vagy -90 fokkal történő elforgatását jelenti. Ennek bekövetkezését egy 1 és 100 közötti véletlenszám befolyásolja oly módon, hogy 1-2.5 között az egyik irányba, 2.5-5 között a másik irányba fordul, 6-100 között pedig tartja az irányát. A valóságban ez azt jelenti, hogy a felhasználó 2.5% valószínűséggel balra, 2.5% valószínűséggel jobbra fordul, 95% valószínűséggel pedig egyenesen előre haladva folytatja az útját állandó sebességgel.

A szimuláció indításakor továbbá minden mobil állomáshoz meghatározzuk azt a technológia igényét, amivel az őt kiszolgálni alkalmas mobil bázisállomáshoz fordul. Ezt 0 és 2 közötti egész véletlenszámmal határozom meg, 0 esetén LTE, 1 esetén UMTS és 2 esetén GSM technológia igény kerül eltárolásra szintén egy tömbben. Minden időpillanatban 0.25% valószínűséggel újra vizsgálom az egyes mobil állomások technológia igényét, ezáltal kb. 0.17% valószínűséggel változik az igény. Minden pont megjelenítésekor figyelembe veszem az igényhez tartozó értéket és különböző színnel rajzolom fel őket:

- LTE igény esetén: piros szín
- UMTS igény esetén: zöld szín
- GSM igény esetén: magenta szín

Az állandó mozgás miatt kezelni kell azt az esetet is, amikor a mobil állomások elhagyják a felület határait. Ilyenkor kétféle módon járok el:

1. A mobil állomás megszűnik létezni, a hozzá tartozó értékek törlésre kerülnek a kapcsolódó tömbökből.
2. A mobil állomáshoz tartozó értékeket újragenerálom, ezáltal új pozíciót kap, új sebességgel, iránnyal és igénnyel egyetemben.

Az első esetben csökken a szimulációban résztvevő mobil állomások száma, míg a második esetben ez a szám állandó marad. (persze a későbbiekben láthatjuk majd, hogy nem csak ettől függ az említett érték)

## 3.3. Kapcsolódás

A szimuláció során a eredmények kinyerése szempontjából legfontosabb tényező az, hogy mely mobil bázisállomásokhoz milyen számú mobil állomás csatlakozik. Minden időpillanatban vizsgálom azt, hogy toronyhoz csatlakoznak-e felhasználók.

Technológiánként haladok és vizsgálom, hogy a bázisállomás meghatározott, szimulációnként változó értékű sugarában található-e mobil állomás. Egy adott bázisállomás esetén mind egyes mobil állomásra kiszámolom a bázisállomás és a mobil állomás távolságát:

$$\sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2}$$

Amennyiben a kapott távolság érték kisebb vagy egyenlő, mint a sugár, akkor megvizsgálom, hogy a mobil állomáshoz tartozó igény megegyezik-e az állomás által kiszolgált technológia értékkel. Ha igen, akkor létrejön a kapcsolat. Ebben az esetben az technológiához tartozó bool tömbben az adott ponthoz tartozó értéket „true”-ra változtatom.

Abban az esetben, ha a hatókörön belül lévő mobil állomás technológia igénye magasabb, mint a bázisállomás által kiszolgálható technológia (GSM<UMTS<LTE), akkor megvizsgálom a magasabb technológiákhoz tartozó csatlakozással kapcsolatos információt tároló tömbben az adott ponthoz rendelt értéket. Ha ezen értékek valamelyike „true”, akkor az azt jelenti, hogy a mobil állomás már csatlakozott egy másik toronyhoz, ezért nem vizsgálom tovább ennek a toronynak ehhez a mobil állomáshoz fűződő viszonyát. Ellenkező esetben a bázisállomás a lehetőségeihez mérten szolgálja ki a mobil állomást egy alacsonyabb technológiával a fent leírt lépéseket alkalmazva.

A grafikus felületen bázisállomás és mobil állomás közötti kapcsolat létrejöttekor egy egyenest rajzolok az őket reprezentáló két pont közé. Ez az egyenes addig megjelenik, amíg a kapcsolat aktív. Az egyenes színe a mobil bázisállomás által kiszolgált technológiát hivatott jelölni, így a grafikus felületen is követhető, hogy mely esetben tudjuk kiszolgálni maradéktalanul a mobil állomás technológia igényét.

## 3.4. Hívásátadás

A cellahatáron bolyongó mobil állomás megfelelő kiszolgálása érdekében szükséges, hogy adott pillanatba több bázisállomással is kapcsolatban legyen. A szimulációban a cellahatáron bolyongás a lefedettséget reprezentáló körök metszetében való mozgást jelenti. Ilyenkor a mobil állomás maximum 3 bázisállomással van egyszerre kapcsolatban. Mindig a legmagasabb kiszolgálható technológiára képes bázisállomásokkal tartja fent a kapcsolatot addig, amíg legalább egy képes kiszolgálni, alacsonyabb technológiára csak akkor vált, ha már egy bázisállomás sem képes a magasabb igényét fenntartani.

## 3.5. „Lélegző cellák”

UMTS esetén implementáltam az 1.6. fejezetben említett lélegző cellákat. Egy külön értéket vezettem be, amelyet az UTMS cellákhoz való csatlakozás vizsgálatakor minden egyes csatlakoztatott mobil állomás esetén eggyel növelek. Abban az esetben, ha ez az érték elér egy meghatározott számot, akkor a minden időpillanatban minimálisan csökkentem az UTMS cella méretét addig, amíg a csökkentett sugárral rendelkező cellához kapcsolódó mobil állomások újbóli vizsgálatakor a határértéken belüli értéket kapok. Ebben az esetben minden időpillanatban növelem a cella méretét addig, amíg az elkövetkező vizsgálatok ismét a határértéknél nagyobb számot eredményeznek vagy a cella el nem éri a maximális méretét.

A későbbiekben az LTE hasonló forgalomkezelési megoldását is tervezem implementálni.

## 3.6. Fogyasztás

A szimulációs eredmények kinyerése érdekében bevezettem a mobil bázisállomások fogyasztásának tárolására alkalmas változókat is. Ezek az értékek a bázisállomáshoz csatlakozó mobil állomások számából következnek. Az egyszerűség kedvéért egy bázisállomás fogyasztása adott, a hozzá csatlakozó mobil állomások számától függetlenül. A fogyasztás értékek technológiánként eltérőek, egy GSM antenna fogyasztása

lényegesen alacsonyabb, mint pl. egy LTE antenna fogyasztása. Az általam használt pontos értékek az 2. táblázatban láthatók.

| | fogyasztás [kVAh] |
|---|---|
| GSM | 1 |
| UMTS | 2 |
| LTE | 3 |

2. táblázat: Bázisállomások fogyasztása
Forrás: Saját készítés

Minden időpillanatban kiszámolom minden egyes bázisállomásra a fogyasztás értéket a csatlakozások alapján, figyelembe véve a technológiákhoz rendelt fogyasztás értékeket.

Az értékeket technológiánként és összesítve is eltárolom és minden időpillanatban az aktuális értéket a kimeneti fájlba írom.

Kétféle működési elv szerint kétféle értéket tárolok:

1. Amennyiben adott mobil bázisállomás senkit nem szolgál ki, akkor az állomást teljes egészében lekapcsolom, tehát 0 a fogyasztása és csak az aktív kapcsolattal rendelkező állomásokhoz rendelek a fent leírtaknak megfelelően fogyasztás értéket.
2. Amennyiben adott mobil bázisállomás nem szolgál ki senkit, de a hatótávolságán belül van, más által kiszolgált mobil állomás, akkor a kiszolgálás lehetőségét fenntartva folyamatos kapcsolatban van vele és ugyanúgy a fentieknek megfelelő fogyasztásértéket rendelem hozzá, mint az aktív kapcsolattal rendelkező bázisállomásokhoz.

A harmadik összehasonlítási alapul szolgáló érték, amikor minden mobil bázisállomás be van kapcsolva és vár a hatótávolságán belülre mozgó mobil állomásokra. Ilyenkor minden állomáshoz a fentieknek megfelelő fogyasztásértéket rendelem.

A kimeneti fájlom egy .csv formátumú fájl, amelyben minden időpillanathoz egy sor tartozik és a sorban a felsorolt háromféle esethez tartozó technológiánkénti és összesített fogyasztásértékek vesszővel

elválasztva szerepelnek. Ezekből utófeldolgozással felbontom és gnuplot használatával különféle grafikonos formára alakítom át a kinyert adatokat.

A gnuplot egy opensource, parancssorvezérelt két- és háromdimenziós függvényrajzoló program. A kimenetet a képernyőre is, valamint rengetegféle képformátumban (.eps, .png) képes kiadni. Én .png formátumot használok a grafikonok megjelenítéséhez.

# 4. Szimulációk futtatása

A kapott fogyasztási adatokat a már említett háromféle szempont alapján számolom ki:

- Teljes fogyasztás: minden mobil bázisállomás üzemel és energiát fogyaszt
- 2. módszer szerinti átlagos fogyasztás: minden mobil bázisállomás üzemel és energiát fogyaszt, amelynek a hatósugarán belül mobil állomás található, függetlenül attól, hogy kapcsolatban vannak vagy sem
- Átlagos fogyasztás a javasolt módszerrel: csak azon mobil bázisállomások üzemelnek és fogyasztanak energiát, amelyek ténylegesen kiszolgálnak mozgó mobil állomásokat

Az adatokat táblázatos formában és a függelékben elhelyezett grafikonos formában is bemutatom.

## 4.1. Fix számú mozgó mobil állomás

300 felhasználó, 1. számú környezet:

Ebben a szimulációban a kezdetben elhelyezett 300 mobil állomás mozog az 1-es számú szimulációs környezetben, amely egy 4x7 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett kisebb városnak felel meg. Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

A szimulációt 180 másodpercig futtatom, ez alatt 600 időpillanatnyi adatból tudok statisztikát készíteni.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 136 | 408 | 347,719 | 227,874 |
| UMTS bázisállomások | 18 | 36 | 36 | 34,615 |
| GSM bázisállomások | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Összes bázisállomás együtt | 162 | 452 | 391,719 | 270,490 |

3. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

1000 felhasználó, 2. számú környezet:

Ebben a szimulációban a kezdetben elhelyezett 1000 mobil állomás mozog az 2-es számú szimulációs környezetben, amely egy 8x14 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett városnak felel meg. Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

A szimulációt 180 másodpercig futtatom, ez alatt 600 időpillanatnyi adatból tudok statisztikát készíteni.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 272 | 816 | 649,824 | 419,974 |
| UMTS bázisállomások | 66 | 132 | 70,484 | 64,528 |
| GSM bázisállomások | 25 | 25 | 25 | 24,889 |
| Összes bázisállomás együtt | 373 | 973 | 745,310 | 509,390 |

4. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

5000 felhasználó, 3. számú környezet:

Ebben a szimulációban a kezdetben elhelyezett 5000 mobil állomás mozog az 3-es számú szimulációs környezetben, amely egy 16x28 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett nagyvárosnak felel meg. Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

A szimulációt 180 másodpercig futtatom, ez alatt 600 időpillanatnyi adatból tudok statisztikát készíteni.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 1983 | 5949 | 5696,287 | 3656,452 |
| UMTS bázisállomások | 231 | 462 | 440 | 429,889 |
| GSM bázisállomások | 78 | 78 | 78 | 76,675 |
| Összes bázisállomás együtt | 2292 | 6489 | 6214,287 | 4163,017 |

5. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

## 4.2. Növekvő számú mozgó mobil állomás

200-ről 500-ra növekvő számú felhasználó, 1. számú környezet:

Ebben a szimulációban a kezdetben elhelyezett 200 mobil állomás mozog az 1-es számú szimulációs környezetben, amely egy 4x7 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett kisebb városnak felel meg. Az idő múlásával egyenes arányban növekszik a mobil állomások száma addig, amíg el nem éri az 500-at. Ez a fajta szimuláció a terhelés növekedésével járó fogyasztás változását hivatott szemléltetni.

Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 136 | 408 | 360,77 | 255,37 |
| UMTS bázisállomások | 18 | 36 | 36 | 35,7 |
| GSM bázisállomások | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Összes bázisállomás együtt | 162 | 452 | 404,77 | 299,07 |

6. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

500-ról 2000-re növekvő számú felhasználó, 2. számú környezet:

Ebben a szimulációban a kezdetben elhelyezett 500 mobil állomás mozog az 2-es számú szimulációs környezetben, amely egy 8x14 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett városnak felel meg. Az idő múlásával egyenes arányban növekszik a mobil állomások száma addig, amíg el nem éri az 2000-et. Ez a fajta szimuláció a terhelés növekedésével járó fogyasztás változását hivatott szemléltetni.

Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 272 | 816 | 667,086 | 450,378 |
| UMTS bázisállomások | 66 | 132 | 71,169 | 67,456 |
| GSM bázisállomások | 25 | 25 | 25 | 24,942 |
| Összes bázisállomás együtt | 373 | 973 | 763,26 | 542,778 |

7. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

3000-ről 4000-re növekvő számú felhasználó, 3. számú környezet:

Ebben a szimulációban a kezdetben elhelyezett 3000 mobil állomás mozog az 3-es számú szimulációs környezetben, amely egy 16x28 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett nagyvárosnak felel meg. Az idő múlásával egyenes arányban növekszik a mobil állomások száma addig, amíg el nem éri az 4000-at. Ez a fajta szimuláció a terhelés növekedésével járó fogyasztás változását hivatott szemléltetni.

Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 1983 | 5949 | 5171,411 | 2690,113 |
| UMTS bázisállomások | 231 | 462 | 440 | 429,645 |
| GSM bázisállomások | 78 | 78 | 78 | 77,145 |
| Összes bázisállomás együtt | 2292 | 6489 | 5689,411 | 3196,903 |

8. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

## 4.3. Napi szimuláció online statisztikák alapján

A 24 órás szimuláció online statisztikák alapján készítem el, a nap folyamán változó felhasználószám mellett. Kezdetben 2000 mobil állomás mozog az 2-es számú szimulációs környezetben, amely egy 8x14 km-es minden szimulált technológiával teljesen lefedett városnak felel meg. Amennyiben egy mozgó mobil állomás elhagyja a terület határát, akkor azonnal újragenerálom a felület egy véletlen pontján.

A szimulációt 450 másodpercig futtatom, ez alatt többször változtattam a mobil állomások növekedésének vagy csökkenésének az ütemét és előfordul, hogy ez a szám bizonyos ideig állandósul.

| | Cellák száma | Teljes fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás [kVAh] | Átlagos fogyasztás a javasolt módszer alkalmazásával [kVAh] |
|---|---|---|---|---|
| LTE bázisállomások | 272 | 816 | 690,493 | 515,178 |
| UMTS bázisállomások | 66 | 132 | 71,252 | 67,943 |
| GSM bázisállomások | 25 | 25 | 25 | 24,849 |
| Összes bázisállomás együtt | 373 | 973 | 786,748 | 607,974 |

9. táblázat: Szimulációs eredmények
Forrás: Saját készítés

Minden egyes szimuláció eredményét grafikonos formában is elkészítettem és elhelyeztem a függelékben. Az ábrákon megjelenített piros grafikonok az összes bázisállomás üzemelése esetén számított fogyasztásértéket mutatja, a zöld grafikon azon bázisállomások összfogyasztásának értéke, amelyek hatósugarában mobil állomás van, a kék grafikon pedig azon bázisállomások összefogyasztása, amelyek mobil állomást szolgálnak ki.

Forrás: [6]

# 5. Összegzés, kitekintés

A első fejezetben bemutattam a témakört, az olvasó betekintést nyerhetett a mobil kommunikáció történetébe, az általam használt technológiákat mélyebben megismerhette, valamint a Handover technikákról is tájékozódhatott. Ennek a bevezetésnek a célja, hogy a témakörben kevés vagy semmilyen ismerettel nem rendelkező olvasó is megfelelő ismereteket kapjon a továbbiakban alkalmazott eszközökről, technológiákról, technikákról.

A továbbiakban a szimulációs szoftvert mutattam be, ezáltal világos képet festettem az általam használt megoldások kivitelezéséről.
Végezetül az általam fejlesztett eszköz segítségével valósághű szimulációkat futtattam, amelyeket kiértékeltem és az eredményeket összehasonlítható formába rendeztem.

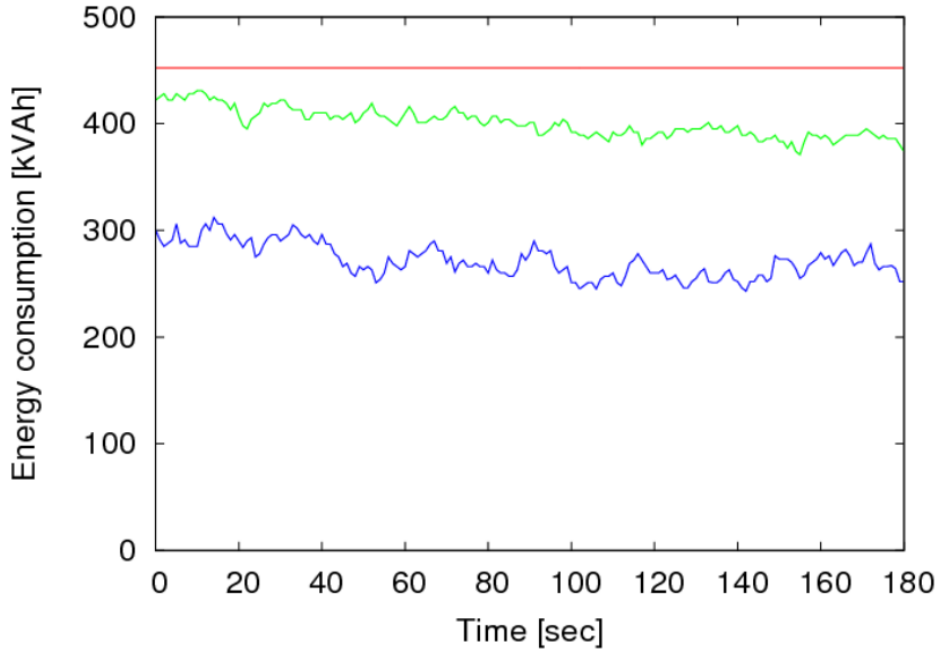
Az kapott értékeket böngészve világossá válik, hogy az általam javasolt módszerrel lényeges fogyasztáscsökkenést érhetünk el. Mindez sok tényező függvénye, de mindenképpen megéri további kutatásokat végezni a témában.

Célom további technológiák (pl. WiFi) beépítése a szimulációs programba, valamint a vezetékes hálózati megoldásokat is megvalósítani. Szeretnék továbbá valós adatokat beszerezni, amelyekkel valósághűbb eredményeket tudok majd kinyerni és elemezni.

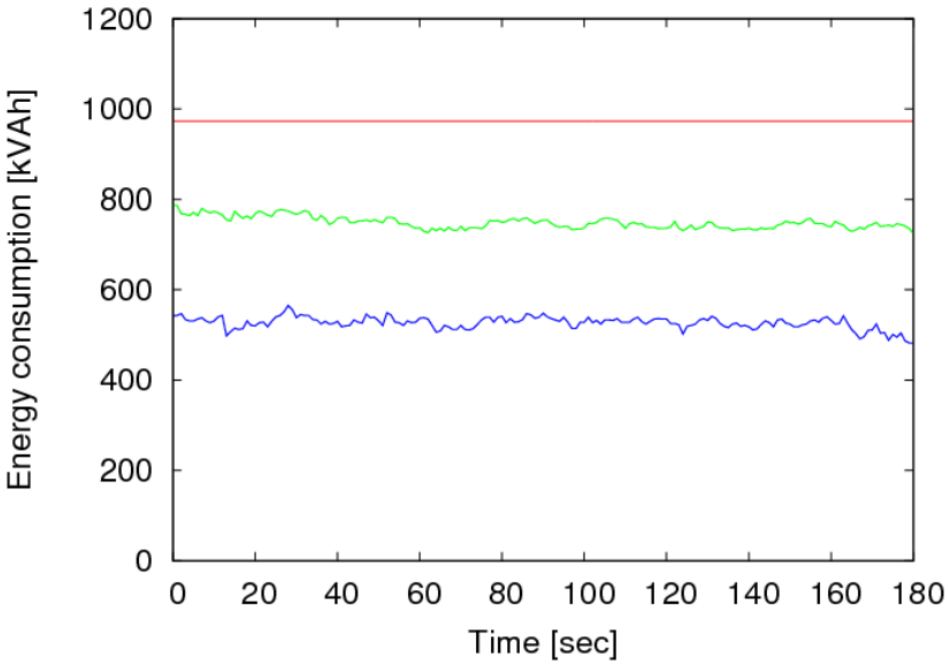
Ezen kívül tervezem konkurens szolgáltatók viselkedés is vizsgálni, mert sok esetben kis terheltségű mobil bázisállomások energiafogyasztását megspórolhatjuk, ha a kis számú kiszolgálásra váró mobil állomást más szolgáltató által üzemeltetett bázisállomásnak engedünk át. Itt a fogyasztás és a bérlési költségek arány lehet mérvadó.

Ha a továbbfejlesztett szimulációs környezet a valós forgalmi statisztikák és mozgásmodellek alkalmazásával is a fentiekhez hasonló eredményeket nyújt, akkor érdemes lesz elgondolkozni a megvalósítás lehetőségeinek további kutatásán.

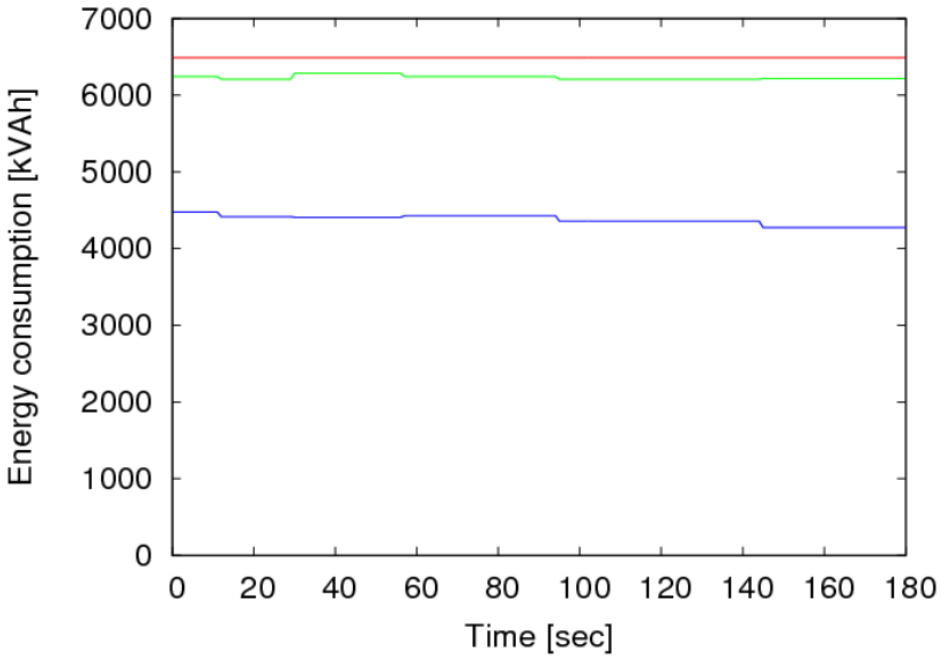
# Függelék



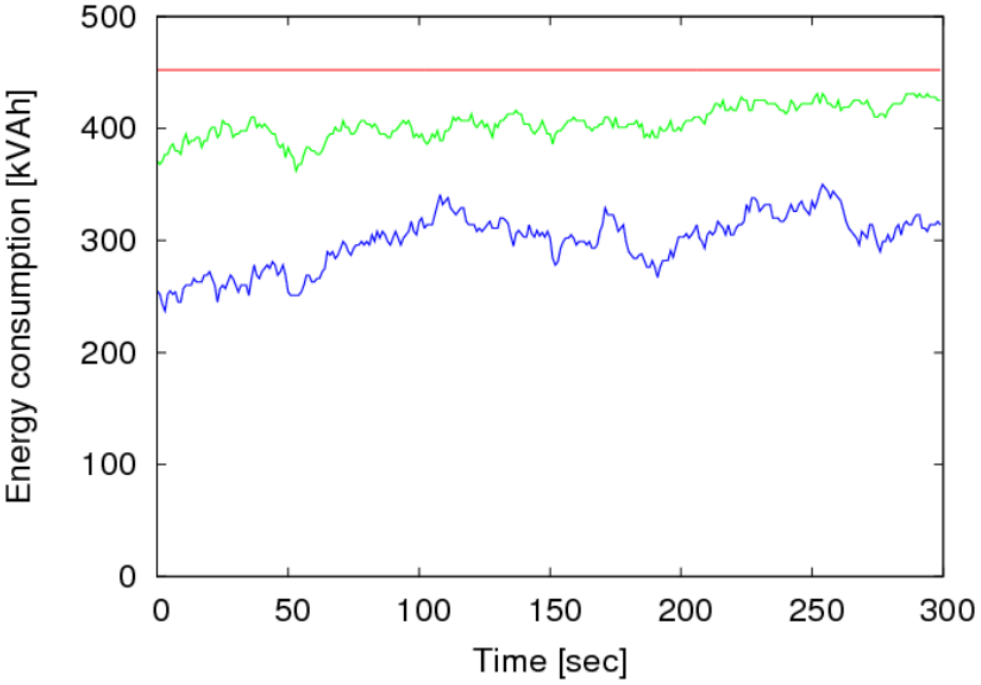

8. ábra: 1. számú szimulációs környezet, fix számú felhasználó
Forrás: Saját készítés



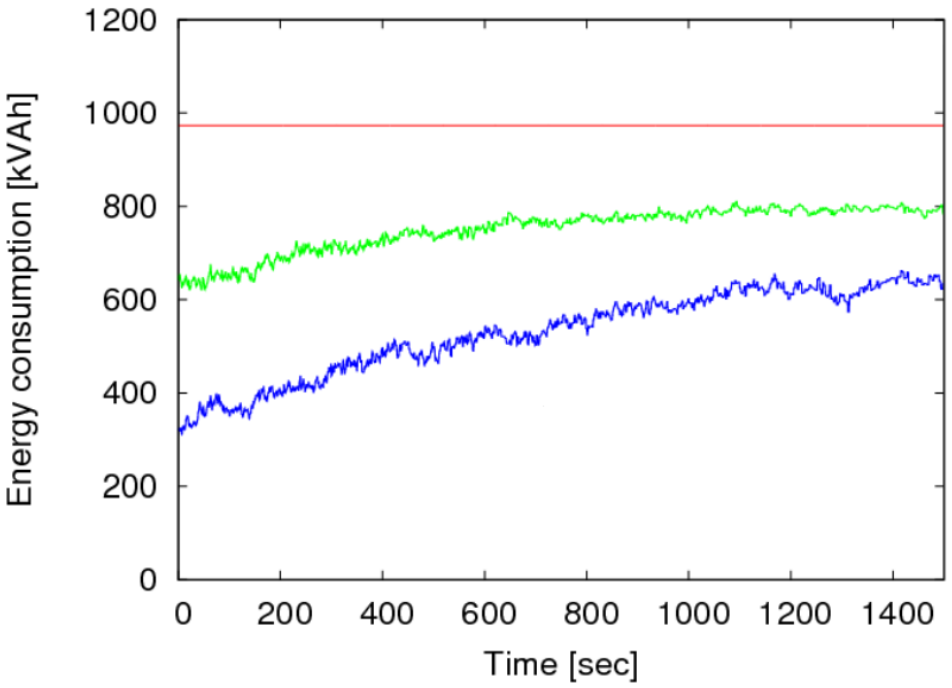

9. ábra: 2. számú szimulációs környezet, fix számú felhasználó
Forrás: Saját készítés



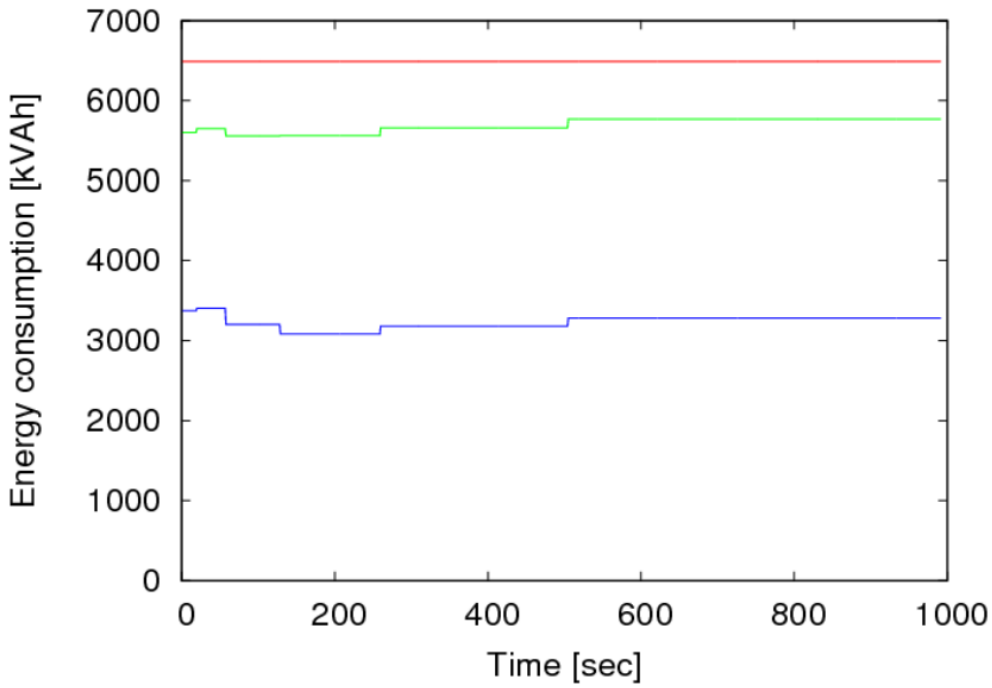

10. ábra: 3. számú szimulációs környezet, fix számú felhasználó
Forrás: Saját készítés



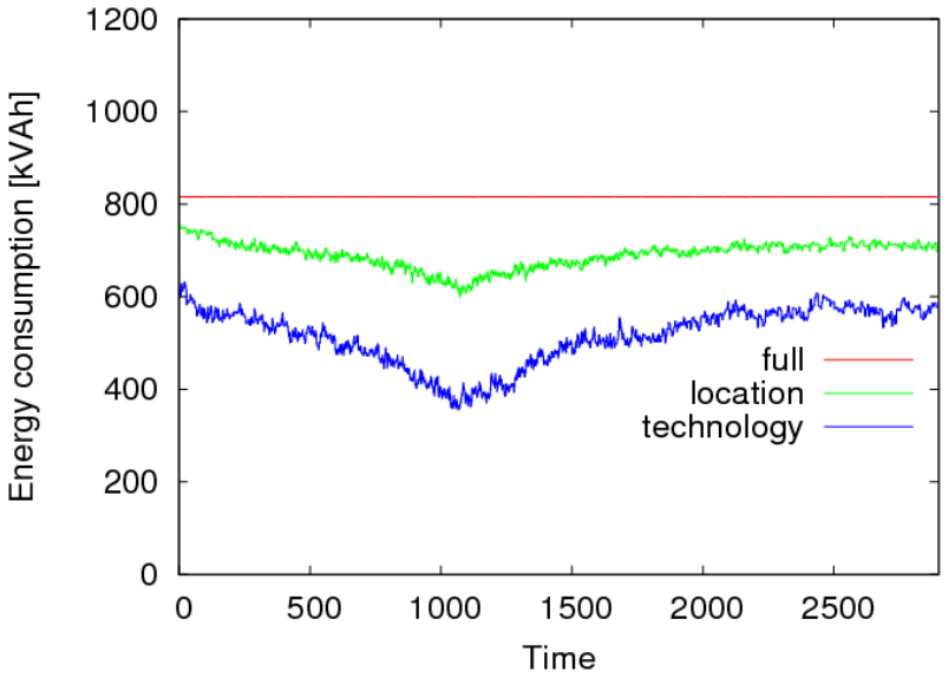

11. ábra: 1. számú szimulációs környezet, növekvő számú felhasználó
Forrás: Saját készítés




12. ábra: 2. számú szimulációs környezet, növekvő számú felhasználó
Forrás: Saját készítés




13. ábra: 3. számú szimulációs környezet, növekvő számú felhasználó
Forrás: Saját készítés




14. ábra: 2. számú szimulációs környezetben futtatott 24 órás napi szimulációval kapott eredmények, LTE cellák fogyasztása
Forrás: Saját készítés

# Irodalomjegyzék


[1] http://www.gdszeged.hu/iskola/tanarok/kecskemeti/gsm_alap/cella.htm

[2] http://www.mcl.hu/~fazek/halozattervezes/Halozattervezes_Radiohalozatok_oravazlat.pdf

[3] http://www.mcl.hu/oktatas/VH_meres_v1_3.pdf

[4] http://www.telekom.hu/static/sw/download/Fenntarthatosagi_jelentes_2009_hun.pdf

[5] http://www.telekom.hu/static/sw/download/Fenntarthatosagi_Jelentes_2011.pdf

[6] http://www.sandvine.com/downloads/documents/2010%20Mobile%20Internet%20Phenomena%20Report.pdf

[7] Maros Dóra: GSM I. Budapest, Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, 1996.

[8] http://www.telekom.hu/static/sw/download/a_mobil_technologia_muszaki_hattere.pdf

[9] http://www.t-mobile.hu/

[10] http://www.telenor.hu/

[11] http://www.vodafone.hu/