



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS
TÉZISFÜZETE

TEMESVÁRI ZSOLT MARCELL

Ad-hoc strukturált
mobil bázisállomások
vészhelyzeti alkalmazásai,
valamint a
mobil technológiák
konvergenciájának kérdései

Témavezető: Dr. Maros Dóra

BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA

Budapest, 2022 június 27

Tartalomjegyzék

1	Summary	3
2	A kutatás előzményei	4
3	Célkitűzések	5
4	Vizsgálati módszerek	5
5	Új tudományos eredmények	6
6	Az eredmények hasznosítási lehetősége	7
7	Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék	7
8	Publikációk	8
8.1	A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények	8
8.2	További tudományos közlemények (opcionális)	8

1 Summary

The demands on mobile networks are growing. Thanks to technological progress, growing user needs are in line with developments. Wireless radio networks and the use of mobile terminals are playing an increasing role in our daily lives. Therefore, the operation of these wireless services must be continuous and uninterrupted, whether for public or national security use. The availability of mobile networks is essential to provide voice and data services in the event of an emergency or disaster, but they are strongly affected by potential network problems due to coverage issues or capacity problems (changes in user behaviour, e.g. in case of panic, force majeure). In emergency situations, the loss of mobile services can be a serious risk and operators must do everything possible to avoid this. The aim of my work is to draw conclusions and propose solutions to unresolved network problems, such as frequency planning, capacity, or coverage problems, and to examine the domestic regulatory environment for ad-hoc mobile base stations.

2 A kutatás előzményei

A mobil hálózatok használata napjainkra életünk alaprészévé váltak, az egyre növekvő felhasználói igényeknek köszönhetően a mobil hálózatok terheltsége permanensen növekszik [1]. A piaci elvárások kielégítésére a szolgáltatók folyamatos hálózatfejlesztési projekteket és zöldmezős beruházásokat hajtanak végre. A jelenleg is zajló hálózatmodernizáció keretében az 5G technológia implementálásra kerül, melynek köszönhetően a rádiós hálózatok nagyobb kapacitást és magasabb adatátviteli sebességet lesznek képesek biztosítani [2].

A kutatási téma időszerűségét a világszerte egyre sűrűbben tapasztalható természeti katasztrófák, terrorcselekmények és háborúk támasztják alá, melyek befolyásolják a mobil bázisállomások üzemfolytonosságát. Az értekezés véglegesítésének idején zajlik az Oroszország és Ukrajna közti háború, ahol a rendelkezésre álló mobil bázisállomások sorra hatástalanításra kerülnek, sérülnek vagy válnak teljesen működésképtelenné a bombázások során. A vészhelyzeti kommunikációra tehát egyre nagyobb hangsúly kerül, a téma kiemelt jelentőségű a vészhelyzeti események elhárítása, valamint a mentési folyamatok vonatkozásában.

A mobil hálózatok működésfolytonosságának jelentősége egyre nagyobb az elmúlt évtizedek során bekövetkezett súlyos terrortámadások, háborús cselekmények, krízishelyzetek, valamint a globális felmelegedés következtében emelkedő tendenciát mutató természeti katasztrófáknak köszönhetően. A kommunikáció folytonossága elengedhetetlen ilyen helyzetben, a mobil hálózatok segítségével történhet a krízishelyzet megoldására vonatkozó releváns információk begyűjtése, a külvilág vészhelyzeti eseménnyel kapcsolatos tájékoztatása, valamint a segélykérés. Kritikus esetekben a hálózati lefedettséget biztosító bázisállomások kieshetnek a szolgáltatásból akár fizikai rongálódás, akár informatikai támadás miatt, de sok esetben a hirtelen megnövekedett forgalom jelentős torlódásokat okoz, mint ahogy ezt számos megtörtént eset is igazol. A hálózatok méretezése ugyanakkor kategorikusan elmarad a pánikhelyzetben megemelkedett forgalmi terhelésektől, valamint a bázisállomások üzemfolytonossága is sérül bizonyos események során, melyek következtében a hívás és adatforgalmi kapcsolódások sikerességi aránya drasztikusan csökken.

A tudományos kutatásom a mobil bázisállomások vészhelyzetben alkalmazható frekvenciatervezési kérdéseire, a krízishelyzetben tapasztalható kapacitásproblémákra, a bázisállomások kieséséből adódó lefedettségvesztési megfontolásokra, az operátorok által alkalmazott eltérő hálózati struktúrából adódó differenciákra, valamint a vészhelyzeti bázisállomás létesítésével kapcsolatos jogszabályi hiányosságokra keres választ.

3 Célkitűzések

Értekezésemben a mobil hálózatok vészhelyzeti kommunikációval kapcsolatos megfontolásaival és a technológiai konvergenciák kérdéseivel foglalkozom. Kutatásom a publikus mobil hálózatok elemzésére terjed ki, a törekvéseim célját tehát a civilek által igénybe vehető technológiák képezik, a zárt célú hálózatokat (pl. TETRA) nem vizsgálom, hiszen azok kizárólag a rendvédelmi szervek számára nyújtanak kommunikációs lehetőséget.

Értekezésem célja a különböző mobil technológiák által biztosítható hálózati erőforrások és lefedettség átvilágítása cellatervezési, frekvenciatervezési, valamint optimalizálási szempontból, továbbá a hazai szabályozási környezet elemzése a vészhelyzeti kommunikáció vonatkozásában. Olyan tervezői szimulátorok segítségével analízálom a rádiós hálózatokat, melyek a mobil technológiák (2G és 4G) és alkalmazott frekvenciák tükrében valóságúen reprezentálják az élőhálózati attribútumokat. Ennek keretében vizsgálatokat végzek a vészhelyzeti állomások optimális frekvenciatervezési metodológiájának megalkotására, valamint különböző vészhelyzeti események szimulációjával predikciókat teszek a bázisállomások elérhetősége tekintetében. Továbbá élőhálózati analíziseken keresztül feltárom a vészhelyzeti kommunikáció potenciális kapacitás problémáit és következtetek a mobil cellák forgalmi renitenciájának eshetőségeire. A fentiek felül áttekintem a kritikus infrastruktúrákra, valamint az ad-hoc telepítésű vészhelyzeti mobil bázisállomásokra vonatkozó jogszabályi környezetet és az akcidentális hipotézisekre megoldást javasolok. A disszertáció megírásának célja, hogy olyan valós aspektusokra hozzak teoretikus megoldást, amely a vészhelyzeti mobil kommunikációt koherens módon segíti.

4 Vizsgálati módszerek

Kutatómunkám során feltérképeztem azokat a lefedettségproblémás helyzeteket, melyek megkövetelik az operátorok technológiáinak konvergenciáját vészhelyzet esetén. Ehhez, valamint a vészhelyzeti frekvenciatervezés biztonságtechnikai kérdéseinek vizsgálatához szükség volt a szolgáltatók által megválasztott hálózattervezői stratégiák felkutatása és megértése, valamint ezek tervező szoftverrel való lemodellezése valós fizikai szimulációs környezetben. Kutatásom elvégzéséhez élőhálózati vizsgálatokat is végeztem, mely során különböző hálózati paraméterek analízisével és hálózati statisztikák elemzésével jutottam következtetésemre. A mobil kommunikáció vészhelyzeti szabályrendszerének kidolgozásához a vonatkozó jogszabályok áttekintésére, valamint tapasztalati aspektusokra volt szükség.

A választott témakörök széles kompetenciaspektrumot ölelnek át, melynek tükrében kutatásomhoz a kvalitatív, a kvantitatív, valamint az empirikus kutatási módszertant is igénybe kellett vennem.

Az 1. fejezetben a nemzetközi szabályozási környezet kerül fókuszba az értekezésem témájával kapcsolatos egyéb témakörök áttekintésével. A 2. fejezetben a vészhelyzeti bázisállomások alapjául szolgáló frekvenciatervezési metódusok szempontjai kerülnek vizsgálat alá. A 3. fejezetben a mobil hálózatok vészhelyzeti kapacitására vonatkozólag végzek analíziseket, valamint a hálózati konvergenciák relevanciáját fogom elemezni. A 4. fejezetben a mobil hálózatok lefedettségi problémáit vizsgálom a vészhelyzetből adódó szolgáltatás kiesések tekintetében, valamint a hálózatok lefedettségi erőforrásainak megosztása vonatkozásában. Az 5. fejezetben a kritikus infrastruktúrák és az ad-hoc telepítésű vészhelyzeti bázisállomások magyar jogszabályi környezetét tekintem át az esetleges hiányosságok feltárása érdekében.

5 Új tudományos eredmények

TÉZIS I.

Szimulációkkal bizonyítottam, hogy egy 5 MHz-re szűkített GSM hálózat esetében egy ideiglenesen telepített vészhelyzeti bázisállomás – egy már meglévő hálózati struktúrába, a város frekvenciatervének felhasználásával – megfelelő jel/zaj viszonyok mellett beilleszthető. Meghatároztam, hogy a vészhelyzeti állomáshoz alkalmazható frekvenciatervezési módszerek közül melyik és milyen feltételekkel alkalmazható (1/1 módszer) a lehető legrövidebb telepítési idő tekintetében [T2][T5][T6].

TÉZIS II.

Élőhálózati analízissel kimutattam, hogy kritikus helyzetekben a GSM 900-as cella, valamint az LTE 800-as mobil hálózatok olyan mértékű torlódást szenvedhetnek el, mely permanens hang és adatszolgáltatás nyújtására már nem képes. Javaslatot tettem arra vonatkozóan, hogy az ilyen esetekben a különböző szolgáltatók hálózati erőforrásainak aggregálásával a torlódások elkerülhetőek lennének [T1][T2][T3][T5][T7].

TÉZIS III.

Szimulációkkal bizonyítottam, hogy kritikus helyzetekben a bázisállomás kiesése esetén városi környezetben korlátozottan, vidéki helyszíneken, valamint ahol az operátorok szolgáltatásai közt számottevő különbségek adódnak különösen indokoltan használható a szolgáltatók közötti frekvencia network sharing (hálózatmegosztás) megoldás, amely a vészhelyzeti lefedettség kiterjesztésére, valamint kisebb-nagyobb volumenű szolgáltatói hálózatkiesések esetén is alkalmazható [T3][T4].

TÉZIS IV.

A vonatkozó magyar jogszabályi környezet feldolgozásával és elemzésével megállapítottam, hogy a mobil hálózat bázisállomásai nem tartoznak a nemzeti létfontosságú rendszerelemek közé. Továbbá nincs szabályozás arra vonatkozóan, hogy a szolgáltatóknak milyen kötelezettségeik

vannak a lefedettség vagy kapacitás pótlására, például ad-hoc telepítésű vészhelyzeti bázisállomásokkal. Ezért meghatároztam egy vészhelyzeti mobil bázisállomások telepítésére vonatkozó jogszabályi szempontrendszert, mely segítségül szolgálhat egy későbbi jogalkotói tevékenységhez [T5].

6 Az eredmények hasznosítási lehetősége

Téziseimben ismertetett teoretikus tudományos eredményeim gyakorlati alkalmazásának relevanciáját további kutatások keretében javasolom felülvizsgálni. Amennyiben az érintett területek szakértői érvényt látnak ajánlásaim élőhálózati megvalósítására, tehát feltételezéseim és következtetéseim a gyakorlatban is megalapozást nyernek, úgy a mobilhálózatok vészhelyzetben való működését a javasolt fejlesztésekkel kívánom optimalizálni és téziseimmel indirekt módon segíteni a vészhelyzeti kommunikációban érintett felhasználókat.

Az értekezésben kijelölt további kandidált kutatási témáim:

- Vészhelyzeti dedikált TCH csatornák alkalmazásának lehetőségei, valamint a GSM-LTE zavartatás analízise a GSM vivőfrekvenciák LTE határsávval való átfedése tekintetében;
- A lefedettségi network sharing lehetőségeinek további vizsgálata. A kutatás első vizsgálandó aspektusaként az eSIM a témában való alkalmazhatóságát jelölném meg, melynek segítségével a mobil terminál akár több operátor hálózatához is hozzáférhet, igénybe veheti azt, valamint a fent leírt szempontoknak megfelelően végezhet méréseket.
- A network sharing gyakorlati és műszaki megvalósításának kidolgozása és a kapacitási aspektusok további áttekintése. Többek között kapacitási network sharing megvalósíthatóságának lehetőségeit értem a Core hálózatok összekapcsolását illetően, valamint a szolgáltatók különböző technológiai és frekvenciasávjai közti load balancer bevezetésének aspektusait.
- Speciális guruló mobil bázisállomások kiváltása egyéb műszaki megoldásokkal, gyorsan a helyszínre vezényelhető és üzembe helyezhető hordozó technológiák alkalmazásával, például nagy teljesítményű drónok használatával, valamint újgenerációs műholdas átvitel igénybevételével (SpaceX Starlink megvalósítása).

7 Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék

- [1] G. Durgin, T. S. Rappaport, and H. Xu, "Radio Path and Penetration Loss Measurements in and around Homes and Trees at 5,85 GHz," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 46, no. 11, 1998.

- [2] R. N. Mitra and D. P. Agrawal, "5G mobile technology: A survey," *ICT Express*, vol. 1, no. 3, pp. 132–135, 2015.

8 Publikációk

8.1 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [T1] Z. M. Temesvári and D. Maros, "Data Transfer Rates and Data Traffic Trends on Mobile Networks," INDECS (Web of Science), 2019.
- [T2] Z. M. Temesvári, D. Maros, and P. Kádár, "Review of Mobile Communication and the 5G in Manufacturing," *Procedia Manufacturing* (Scopus), 2019.
- [T3] D. Tokody, Z. Rajnai, A. Albin, L. Ady, and Z. M. Temesvári, "Kiberbiztonság az autóiiparban," *Bánki Közlemények*, 2018.
- [T4] Z. M. Temesvári, "Mobil bázisállomások vagyónvédelme," *Hadmérnök*, 2018.
- [T5] Z. M. Temesvári and D. Maros, "Mobilhálózatok kapacitása vészhelyzetben," *Hadmérnök*, 2017.
- [T6] Z. M. Temesvári, "Review of Frequency Spectrum and Energy Consumption in 5G," in 2019 International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering , 2019, pp. 21–26.
- [T7] Z. M. Temesvári, "Az elérhető adatátviteli sebesség, valamint adatforgalmazási tendenciák mobilhálózatokon," in XXXII. Kandó konferencia , 2016, pp. 1–6.

8.2 További tudományos közlemények (opcionális)

- [T8] P. Kádár, Z. M. Temesvári, and I. Szén, "Innovative solutions in the 125 years old Budapest Metro No.1.," in 2020 International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering, 2020, pp. 21–26.