

A GSM-R rendszer, hazai vonatkozásai és elektromágneses kompatibilitási kérdései

Unger Tamás István
Távközlési Tanszék
Széchenyi István Egyetem
B.Sc. szakos villamosmérnök hallgató
Győr, Magyarország
unger.tamas.taisze@gmail.com

Kulcsszavak—GSM-R, vasúti kommunikáció, mobil távközlés, elektromágneses kompatibilitás, rendszerarchitektúra, projekt

Kivonat—Cikkem a vasútspecifikus mobil távközlési rendszer, a GSM-R (*Global System for Mobile communications - Railway*) kérdéskörével foglalkozik. A vasúti kommunikáció múltját röviden érintve bemutatom azokat az okokat és motiváló tényezőket, melyek arra sarkallták a távközlési innováció katalizátoraként működő piaci szereplőket, hogy az analóg rádiórendszerek lecserélése érdekében egy új infokommunikációs rendszert tervezzenek és implementáljanak a kötöttpályás közlekedés kiszolgálására. Röviden felvázolom a GSM-R megszületésének szabályozási hátterét, frekvenciáinak kiosztását, annak okait. Ismertetem azon vasúti alkalmazásokat, melyeket az új rendszernek ki kell szolgálnia, érintve azok műszaki igényeit is. Áttekintést nyújtok a GSM-R rendszerarchitektúrájáról, rendszerszintű felépítéséről, ajánlott megoldásairól, az egyes megoldások jellegzetességeiről, ismertetve azok előnyeit, hátrányait. Rövid betekintést nyújtok a GSM-R projekt hazai helyzetébe, érintve az aktuális kérdéseket is. Kitérek a GSM és a GSM-R közös pontjaira, különbségeire, végül érintem a vasúti rendszer és a nyilvános mobil távközlő rendszerek elektromágneses kompatibilitási kérdéseit is.

I. BEVEZETÉS

A világ vasúthálózatainak üzemeltetése és fenntartása rendkívül sokszínű kommunikációs, távközlési követelményrendszerrel rendelkezik, amit a vasúttársaságoknak figyelembe kell venniük, ki kell elégíteniük. Ezen követelményeket napjaink vasúti telekommunikációs rendszere sokféle, eltérő típusú infokommunikációs megoldással igyekszik kiszolgálni, szem előtt tartva a kötöttpályás közlekedés sajátosságait, legyen az hang- vagy adatátvitel. Sajnálatos, hogy a jelenleg üzemelő rendszerek egy bizonyos része az évtizedes múltjával a rohamosan fejlődő távközlési környezetben elavulttá vált, így azok korszerűsítése, cseréje vitán felül aktuális kérdés.

A modern vasúti távközlési rendszer feladata,

hogy hibamentesen, magas színvonalon teljesítse a régi rendszerek által megvalósított szolgáltatásokat, így alkalmas legyen azok kiváltására, továbbá fel kell készíteni a jövő telekommunikációs igényeinek teljesítésére is, így például a nemzetközi vasúthálózatok kiszolgálására, ami országhatárokon átnyúló összehangolást igényel, de a hatékonyság és a minőségi paraméterek javítása is hasonlóan fontos szempont.

Az új rendszerrel szemben támasztott legfontosabb követelmények általánosságban, néhány pontba szedve összefoglalhatók:

- Nemzetközi (európai) szabványosítás;
- Hatékony és gazdaságos megvalósítás és üzemeltetés;
- Nagy megbízhatóság és rendelkezésre állás egészen 500 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ sebességig;
- A vasúti szolgáltatások egyetlen rendszerbe történő megvalósítása;
- Későbbi szolgáltatások könnyű integrálhatósága;
- A költségek minimalizálása érdekében már szabványosított, a piacon is kapható átviteltechnikai eszközök alkalmazása.

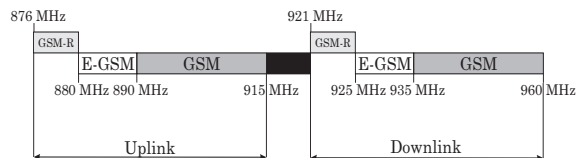
A modern vasútspecifikus távközlési rendszer fejlesztésének úttörőjeként az UIC (*Union Internationale des Chemins de fer*, angolul *International Union of Railways*) nevű szervezetet jegyezhető, amely már a tervezés kezdeti fázisában kijelentette, hogy a rendszer megvalósításának kulcsfontosságú pontja a nemzetközi összehangoltság érdekében történő frekvenciasáv-harmonizáció. A GSM-R rendszer kialakulásának és fejlődésének története jó közelítéssel innen, a kilencvenes évek elejétől datálható [1].

II. GSM-R FREKVENCIAKIOSZTÁS

A folyamatok 1995-ben gyorsultak fel: az UIC felállította az EIRENE (*European Integrated Ra-*

ilway Radio Enhanced Network) nevű munkacsoportot, melynek elsődleges feladata az volt, hogy megvizsgálja a GSM és a TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*) rendszereket alkalmazhatóság szempontjából. A munkacsoport úgy találta, hogy a vasúti alkalmazásra a GSM a legmegfelelőbb rendszer, így erre esett a választás. Ismeretes, hogy ez a rendszer a kilencvenes évek végére körülbelül 100 ország több mint 180 hálózatában üzemelt, és nagyjából 70 millió előfizetőt tudott felmutatni évi másfélszeres növekedéssel. Ez a maga korában korszerű, inspiráló és tekintélyes eredmény volt.

A frekvenciakiosztás kérdéskörének vizsgálata során az UIC két lehetséges ötletet vetett fel: a 450/460 MHz-es, valamint a 900 MHz-es frekvenciasávot. Előbbi legnagyobb problémája, hogy szinte teljes egészében foglalt a klasszikus, analóg vasúti rádióalkalmazások által, így nem áll rendelkezésre elegendő mennyiségű frekvenciablokk az új rendszer implementálására, a használatban lévő frekvenciablokkok újracsatolása pedig átállási időt igényel, ez pedig nem bizonyulna jó megoldásnak. Emiatt, valamint a hullámterjedési tulajdonságok és a rendszerek rendelkezésre állásának figyelembevételével jobb megoldásnak bizonyult a 900 MHz-es sávban történő allokáció. A frekvenciakiosztás az 1. ábrán látható. A rendszer *uplink*-tartománya a 876 MHz –



1. ábra. GSM-R frekvenciakiosztás

880 MHz-es sávban, míg a *dowlink*-frekvenciablokk a 921 MHz – 925 MHz-es sávban található, közvetlenül a kiterjesztett GSM-sáv (*Extended GSM*, E-GSM) alatt, a TR 25-09-es ETSI-szabvány [2] (*European Telecommunications Standards Institute*) alapján. Az európai frekvenciaharmonizáció alapján tehát megtörtént az első lépés a rendszer nemzetközi összehangolása felé.

A következőkben az UIC a vasúti rendszerkövetelmények teljesítése érdekében néhány új szolgáltatási igényt nyújtott be az ETSI mobil munkacsoportjának (*Special Mobile Group*, SMG), melyek a GSM szabványosításának utolsó fázisában (Phase 2+) kerültek be a GSM-szabványba, majd 1997-ben az UIC EIRENE 32 európai vasúttársasággal együtt egy szándéknyilatkozatban rögzítette (*Memorandum of Understanding*, MoU), hogy elkötelezett a GSM-R bevezetése, implementálása mellett [3]. A rendszer alapjait tehát 1998-ra teljes egészében lefedték, így a fejlesztés, a finomítás és a megvalósítás már

az ezredfordulón elkezdődhetett.

III. A VASÚTI TÁVKÖZLÉS MÚLTJA

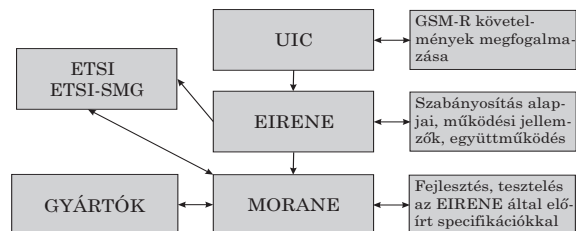
A vasúti távközlési rendszerek világa meglehetősen összetett, sokszínű, az egyes alkalmazásokat gyakran teljesen eltérő technológiák szolgálják ki, valósítják meg, nemzetközi összehangoltságról gyakorlatilag nem beszélhetünk. Az alkalmazásokat és az azokhoz rendelt (tipikus, de nem kötelező érvényű) kommunikációs rendszereket tartalmazó táblázat jól szemlélteti, hogy miért van szükség a GSM-R bevezetésére.

Alkalmazás	Rendszer
Vonatirányítás, vezetői kommunikáció	Trónkölt rádiórendszerek 460 MHz-en
Automatikus vonatirányítás, vonatvezérlés	Sínmenti sugárzó kábel (35/36 KHz)
Tolatási csoportok	8 MHz, 450 MHz walkie-talkie
Vészhelyzeti kommunikáció	Trónkölt rádiórendszerek 460 MHz-en
Sínmenti karbantartás	Analóg vezetékes telefon, PLMN-GSM
Vonatsegítő kommunikáció	változó, gyakran nincsen
WAN	ISDN, analóg hálózat
Utasszolgálat	analóg mobil, ha van
Állomáson belüli kommunikáció	PABX hálózat, 160 MHz-es rádió

Nagy problémát jelent, hogy ezen analóg és digitális rendszerek eltérő frekvenciasávokban üzemelnek, valamint rendszerszinten egyaránt megjelenik a vezetékes és a vezeték nélküli megoldás is, így a közöttük történő együttműködés gyakorlatilag lehetetlen, kivitelezhetetlen, nem is beszélve a drága fenntartásról és üzemeltetésről, a kábelezés nehézségeiről és egyéb problémákról. A GSM-R többek között ezeket a problémákat is kiküszöböli, áthidalja.

IV. GSM-R FEJLESZTÉS, ALKALMAZÁSOK

A GSM-R rendszer kialakításában résztvevő szervezeteket, azok feladatait és kapcsolatait szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Specifikáció és validáció

Eddig még nem esett szó a MORANE-ről (*Mobile Radio for Railway Networks in Europe*), amely tulajdonképpen egy vasúttársaságok, GSM eszközöket gyártó cégek és kutatócsoportok alkotta konzorcium, mely kutatás-fejlesztéssel, eszközök vizsgálatával és gyártásával foglalkozik egyéb, nem csoporttag cégekkel összhangban. Látható, hogy a szervezetek a szabványosítástól a gyártáson keresztül a tesztelésig a teljes tervezési, specifikációs feladatot ellátják, így fedve le nemzetközi szinten a GSM-R rendszerrel kapcsolatos legfontosabb feladatokat.

A rendszer követelményei, alkalmazásai két nagy csoportba sorolhatók:

- Az EIRENE által támasztott követelmények, melyek a teljes európai vasúthálózatra érvényesek, így nemzetközi hatáskörűek;
- Ország- és/vagy gyártóspecifikus követelmények az igényeknek megfelelően kialakítva.

Az EIRENE által meghatározott alkalmazások táblázata a 3. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a mun-

Vasúti jelzőrendszerek	Automatikus vonatirányítás
	Távvezérlés
Üzemeltetési hangalapú kommunikáció	Vasútirányítás-vezető kommunikáció
	Vészhelyzet jelzése
	Tolatási kommunikáció
	Vezető-vezető kommunikáció
	Sínmenti karbantartás
	Vonattámogatási kommunikáció
Helyi és WAN hang és adat	Állomáson belüli kommunikáció
	WAN-kapcsolat
Utasszolgálat	Kényelmi szolgáltatások

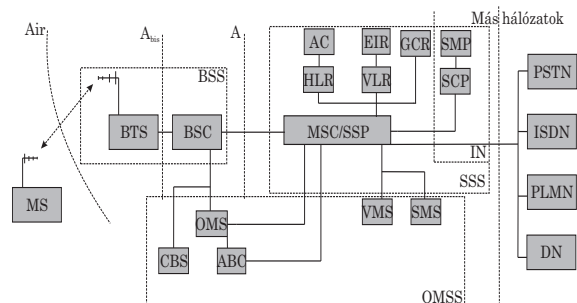
3. ábra. EIRENE alkalmazások

kacsoport által felállított táblázat gyakorlatilag teljes egészében lefedi a klasszikus feladatokat, így tulajdonképpen végrehajtja a feladatok egyetlen rendszerbe történő integrálását. A kimaradt alkalmazások nemzeti szinten implementálhatók a rendszer keretei között.

V. A GSM-R RENDSZER FELÉPÍTÉSE

Miként azt már említettem, a GSM-R rendszer szabványosítása során a munkacsoportok arra törekedtek, hogy a meglévő GSM-alapokra építsék a

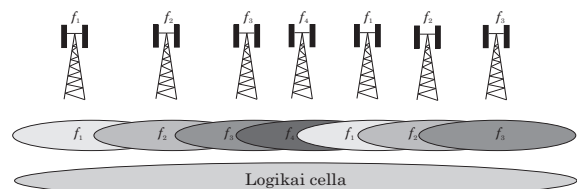
rendszert, a lehető legkevesebb új elem definiálásával. A rendszer a 4. ábrán látható, amely ezek alapján tulajdonképpen nem más, mint a klasszikus GSM-architektúra [4]. A mobil állomások (*Mobile Station*,



4. ábra. A GSM-R rendszer felépítése

MS) az *Air Interface*-en keresztül csatlakoznak a BTS-ekhez (*Base Transceiver Station*), melyeket az *A-bis* interface-en keresztül a BSC-k (*Base Station Controller*) vezérelnek. A BSC-k az *A* interface-en keresztül csatlakoznak az SSS-hez (*Switching Subsystem*), melyet tulajdonképpen az MSC (*Mobile Switching Centre*) és a hozzá tartozó regiszterek alkotnak. A rendszer a klasszikus PLMN-hez hasonlóan rendelkezik interface-szel egyéb hálózatok irányába is, valamint tartalmazza az OMSS-t (*Operation and Maintenance Subsystem*) az üzemeltetési és fenntartási célok érdekében.

Érdemes figyelembe venni, hogy az allokált GSM-R frekvenciasáv igen keskeny: 4 MHz uplink és downlink sáv szélesség a klasszikus 200 kHz-es csatornákkal számolva mindösszesen 20 csatorna használatát teszi lehetővé, így a hálózat tervezése során különös figyelmet kell fordítani az effektív frekvenciakijelölésekre, erőforrás-újrafelhasználásra. A GSM-R speciális hálózat, így mindenképpen szem előtt kell tartani a felhasználók jellegzetességeit: kijelenthető, hogy a pályaudvarok, megállóhelyek közelében jelentősen több felhasználói igény merül fel, így itt célszerű mikrocellákat alkalmazni, melyek ezt képesek effektíven, zökkenőmentesen kiszolgálni. A nagy sebességgel közlekedő szerelvények



5. ábra. A cellák átlapolódása

esetén felmerül a handover minőségének a kérdése

is: olyan hálózatot kell tervezni és megvalósítani, ami extrém nagy sebességek esetén is képes úgy átadni a mobil állomásokat a bázisállomások között, hogy abból a felhasználó nem érzékel semmit. Ez az igény teljesíthető az 5. ábrán látható módon átlapolódó cellákkal, azok egyetlen logikai cellába történő rendelésével. Előnye, hogy zökkenőmentes a handover, hátránya, hogy egy-egy BTS kisebb területet képes lefedni a közös területek szükségessége miatt. Ugyanezen pályaudvaron kívüli szakaszokon kisebb hálózati terheléssel lehet számolni, hiszen az egy időben a cellában tartózkodó felhasználók száma (néhány szerelvény személyzete) nem mérhető össze a pályaudvari kommunikáció igényeivel, így a vágányok mentén elhelyezett BTS-ek kisebb kapacitással tervezhetők és kivitelezhetők. Összességében tehát elmondható, hogy a GSM-R rendszer körülbelül 95%-ban megegyezik a klasszikus GSM rendszerrel [5], különbségek elsősorban a hálózati topológiában, valamint a tervezés vasúti igényekhez igazított menetében adódnak.

A GSM-R rendszer alkalmazásai a következő kritériumokat támasztják a hálózattal és a tervezéssel szemben [1]:

- Stabil összeköttetés és kommunikáció egészen $500 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ -ig;
- Hatékony frekvenciafelhasználás (összesen 20 csatorna);
- $C/I \geq 12 \text{ dB}$ (EIRENE előírás: 15 dB);
- 95 százalékos lefedettség az idő 95 százalékában az elvárt területen, -90 dB-nél nagyobb szinttel;
- 99,5 százalékos handover-sikeresség GSM-R hálózatok között;
- Az átviteli utak és a hálózati eszközök magas rendelkezésre állása;
- Lefedettség az alagutakban;
- Kiemelkedően jó lefedettség a pályaudvarokon, tolatási zónákban;
- Az esetek 95 százalékában a táblázatban feltüntetettél rövidebb hívásfelépülési idő, és a maradék 5 százalékban sem lehet hosszabb, mint az itt előírt érték másfélszerese.

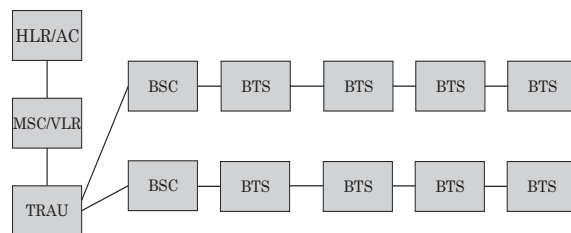
Osztály	Hívás típusa	Idő
I. osztály	Vasúti segélyhívás	1 s
I.a osztály	MS-MS sürgősségi csoport	2 s
II. osztály	Egyéb üzemi	5 s
III. osztály	Alacsony prioritású	10 s

A GSM-R hálózat összefoglalásképpen tehát számos, úgynevezett elliptikus cella összessége a vágá-

nyok mentén, ahol a hálózatnak eleget kell tennie a nagy sebességgel közlekedő szerelvények kiszolgálásának (stabil kapcsolat, handover). Ez tipikusan a vágányok felé irányított antennák sokaságával oldható meg (a minőség biztosítása érdekében használható például duplikált szektorantenna is, ami tulajdonképpen egyfajta térdiverziti-rendszernek felel meg). A pályaudvarok esetén eltérő a helyzet: a sebességgel kapcsolatos követelmények kisebbek, hiszen a mobil állomások többnyire állnak (vagy kis sebességgel haladnak), viszont a hálózat terhelése, a BTS-ekhez kapcsolódó állomások száma jelentősen nagyobb (*hot spot*). Ezek az igények a klasszikus szektorizált cellákkal is kiszolgálhatók. Ritka, de előfordulhat olyan eset, hogy a lassan közlekedő mobil állomások és a felhasználók alacsony számának helyzete egyszerre áll fenn (például kisebb megállóhelyek esetében), ebben az esetben egy cella egy körsugárzóval (tehát három darab 120° -os szektorsugárzóval) is kiszolgálható.

VI. GSM-R HÁLÓZATI STRUKTÚRÁK

Az eddigiek alapján belátható, hogy a GSM-R hálózatoknak igen magas minőségi és megbízhatósági elvárásoknak kell megfelelniük, eleget tenniük, ami érthető is, hiszen a vasút veszélyes üzem. A kritériumok teljesítése BSS- és/vagy SSS-szintű redundanciával oldható meg. A legegyszerűbb eset a BSS-szintű redundancia, így elsőként ezeket az eseteket célszerű áttekinteni. A struktúrákban feltüntetett TRAU (*Transcoder and Rate Adaptation Unit*) feladata a BTS-ek adatsebességeinek illesztése az MSC-hez (az MSC tipikusan $64 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}$ interface-szel rendelkezik, de a GSM rádiós interface $13 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}$ vagy $6 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}$). Egy lehetséges megoldás a 6. ábrán látható lánckapcsolat. Ebben az esetben a BTS-

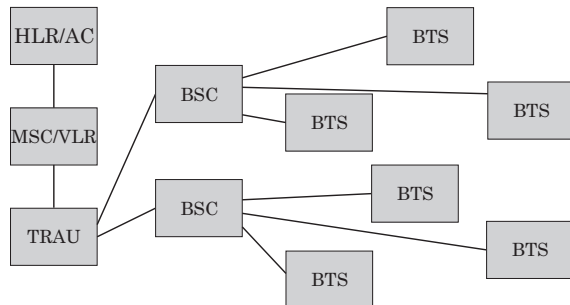


6. ábra. BTS-ek lánckapcsolása

ek sorban felfűzve, egyetlen interface-en keresztül kapcsolódnak a BSC-hez, így alakítva ki a láncot. Amennyiben egy BTS működésében hiba lép fel, vagy a mobil állomás az A_{bis} interface-en keresztül képtelen azzal kapcsolatot létesíteni, úgy a rendszer észrevétlenül egy másik BTS-re kapcsol.

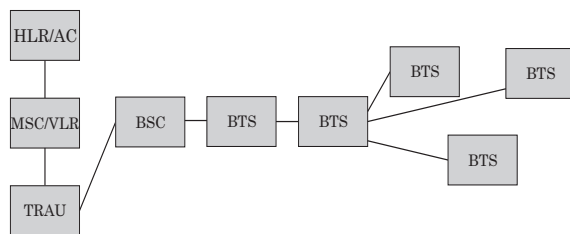
Csillag topológiára mutat példát a 7. ábra. Ebben az esetben az egyes bázisállomások közvet-

lenül, külön-külön kapcsolódnak a bázisállomás-vezérlőhöz, közöttük közvetlen összeköttetés nincsen definiálva. Ezt a típusú redundanciát többnyire



7. ábra. BTS-ek csillag topológiája

sokvívős rendszerekben, szektorizált bázisállomások esetén alkalmazzák (tipikusan PLMN), de a GSM-R rendszer keretei között is előfordulhat. A meglévő



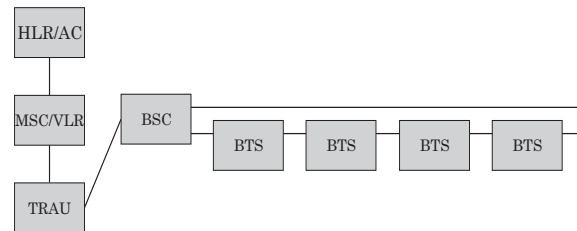
8. ábra. BTS-ek hibrid topológiája

hálózatok kábelezésének felhasználásával olcsó és könnyen előállítható a 8. ábrán látható, az előző két topológia kereszteződéséből keletkező hibrid rendszer, amely az eddigiekkel teljesen analóg módon működik, vált az egyes bázisállomások között egy esetleges meghibásodás esetén.

Az eddig ismertetett topológiák alkalmazása során a kritikus út az egyes bázisállomásokat összekötő kábelszakasz. A nagy megbízhatóságú kábel (legyen az réz vagy optika) a megfelelő végződtetéssel sem olyan megbízható, mint a BTS-BSC-kapcsolat, így a megbízható BTS-ek lánckapcsolása sem növeli tovább a megbízhatósági faktort, más megoldás után kell tehát nézni. Olyan redundáns hálózatot kell építeni, amely áthidalja az olyan hibákat is, melyek esetlegesen a BTS-ek kapcsolatában lépnek fel. Erre megoldás a hálózati hurok alkalmazása.

A szakirodalom két típusú hurkot említ: az egy BSC-hez tartozó hurkot, és a két BSC által létrehozott keresztátszövésű hurkot. Az első eset a legegyszerűbb: maximum 7 BTS kapcsolható egy hurokba, amennyiben az átvitel közöttük PCM30 alapú, de biztonsági okokból ezt a számot a gyakorlatban nem szokták négyenél tovább növelni. Ebben az esetben

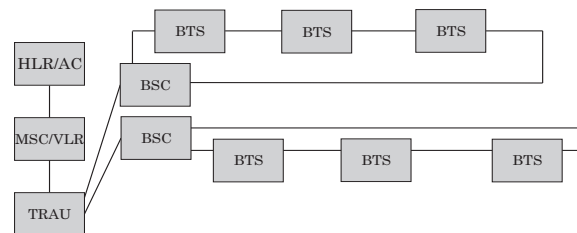
a BSC kétirányú kapcsolatot tud létesíteni, hiszen eléri a bázisállomások a hurok elejéről, de a hurok végéről is. Amennyiben az előreirányú kapcsolat



9. ábra. BTS hurok

valamilyen okból kifolyólag meghibásodik, úgy a rendszer a hátrairányú kapcsolattal el tudja érni a teljes bázisállomás-láncot, az átkapcsolás gyakorlatilag észrevehetetlen. Így kiküszöbölhető a BTS-ek közötti összeköttetések hibaforrása is a rendszerből, hiszen ha valamely BTS-BTS-kapcsolat megszakad, a hurok visszairányú használatával az átkapcsolás zavarmentesen végrehajtható.

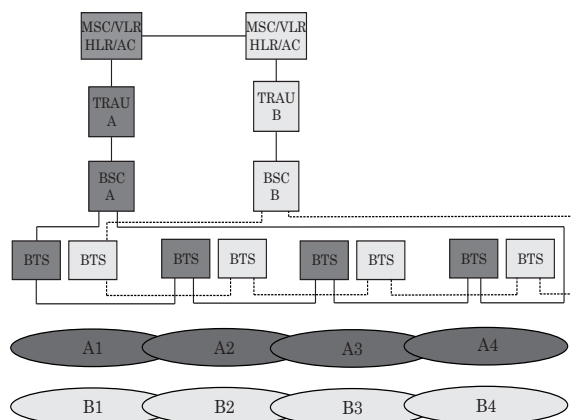
Belátható, hogy ez a struktúra megoldja ugyan a BTS-BTS-összeköttetésből adódó hibát, de a BTS-BSC-kapcsolat meghibásodásával nem tud mit kezdeni. Ezt a hiányosságot küszöböli ki a 10. ábrán látható keresztátszövésű, két BSC-vel felépülő redundáns duplahurok. Az eddig bemutatott megol-



10. ábra. Keresztátszövésű hurok

dások mindegyike alkalmazható rendszerszinten, de a legmegbízhatóbb, legjobb hálózatot a 11. ábrán látható teljes duplikáció, a rendszer megkettőzése fogja biztosítani, hiszen kizárólag ebben az esetben biztosított a kapcsolat még abban az esetben is, ha az MSC-nél felsőbb szinten történik hiba (például az SSS-ben, kapcsolóközponti szinten). A rendszer hibamentes működése is gyakorlatilag garantáltan biztosítható, hiszen bármely eleme is hibásodik meg az egyik ágnak, a másik teljes egészében, minden elemében tudja helyettesíteni azt olyan átkapcsolással, hogy abból a végfelhasználó nem vesz észre semmit. A teljesen, tehát minden síkon duplikált, megkettőzött rendszer minden olyan tulajdonsággal bír, amire a GSM-R rendszerben szükség van, így az itt bemutatott struktúrák közül ennek az alkalmazása a legcélszerűbb, nagy hátránya viszont, hogy

rendkívül drága, tulajdonképpen a tényleges hálózati költségek kétszeresét igényli, hiszen a rendszer kétszeresen kerül implementálásra.



11. ábra. Teljesen duplikált rendszer

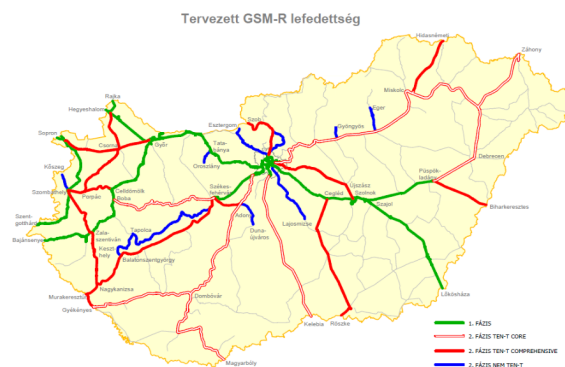
VII. A GSM-R PROJEKT HAZAI VONATKOZÁSAI

A távközlés minden területére érvényes hazai jelenség, hogy – sajnálatos módon – a technológiák, valamint azok fejlődésének tekintetében jelentős hátrányban vagyunk a többi európai országgal szemben. Nincs ez másként a GSM-R esetén sem: bár a rendszer alapjait már az ezredforduló idején lefektették, hazánkban csak 2013-ban kezdődött el annak tervezése és kivitelezése. A hazai projekt a 2007-2013-as Európai Uniók költségvetési periódus Közlekedési Operatív Programjának keretében kerül finanszírozásra, megrendelője a Nemzeti Infokommunikációs Szolgáltató (NISZ) Zrt. A projektet öt feladatra, és ennek megfelelően öt közbeszerzési pályázatra bontották: rendszerszállítás és -integráció, az optikai hálózat megépítése, műszaki ellenőrzés, a szükséges mérőműszerek szállítása, az elkészült hálózat európai uniós minősítése.

A rendszer kiépítésével kapcsolatos független mérnöki feladatok ellátására kiírt közbeszerzési eljárást a T-Systems Magyarország Zrt. és a Magyar Telekom Nyrt. konzorciuma nyerte meg 875,1 millió forintos ajánlatával. Feladatuk a GSM-R rendszer szállítására szerződött vállalkozók tervezési és kivitelezési tevékenységének műszaki ellenőrzése, munkájuk összehangolása és ellenőrzése, előrehaladásuk követése, a NISZ folyamatos tájékoztatása és döntéseinek végrehajtása a dokumentációban foglaltak szerint. A projekt megvalósítását érintő további, az optikai kábelhálózati, a műszerszállítási, valamint az EK-hitelesítési pályázatok még nem zárultak le.

A szerződések értelmében 2015 végéig a MÁV és a GYSEV összesen 935 kilométernyi pályaszakaszán, a Magyarországon áthaladó legfontosabb

európai vasúti folyósókon építik ki a 900 MHz-es sávban működő, az Európai Unió vasúttársaságai által elfogadott és egyre szélesebb körben terjedő, korszerű vasúti rádiókommunikációs rendszert. Lefedik a Rajka-Győr-Budapest-Szolnok-Lökösháza, az Ágfalva-Szentgotthárd, a Bajánsenye-Celldömök-Győr, a Székesfehérvár-Budapest, valamint a Szajol-Püspökladány vonalat. Ezután – 2020-ra – tovább bővül a GSM-R lefedettsége. A hálózat kialakítása a nemzeti közlekedési stratégiával összhangban zajlik majd, és várhatóan további 2300-2400 kilométer vasúti szakaszt érint [6]. A két fázisban megvaló-



12. ábra. Tervezett GSM-R lefedettség [7]

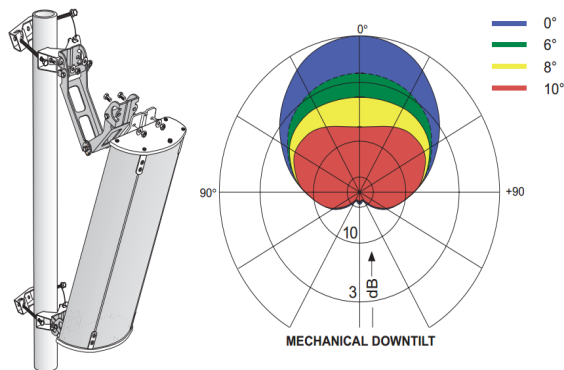
sult magyarországi GSM-R projekt lefedettségét, a magyar vasút érintett vonalait a 12. ábra mutatja.

VIII. A BÁZISÁLLOMÁSOK ANTENNÁINAK BEÁLLÍTÁSA

A GSM-R hálózat tervezésének egyik sarkalatos pontja a megfelelő bázisállomási eszközök, antennák kiválasztása, megfelelő telepítése. Mivel a hálózat kiépítése során a tervezők és a kivitelezők arra törekednek, hogy egyrészt a lehető legkevesebb alkalmazáspecifikus eszközt szerezzenek be és építsék be a hálózatba (ha lehet, akkor kizárólag a PLMN-GSM hálózat klasszikus alkotóelemeit alkalmazzák), másrészt igyekeznek a már meglévő bázisállomási tornyok alkalmazására, kihasználására, hiszen ezzel kikerülhet az engedélyeztetés és az építés, ami megkönnyíti és jelentősen olcsóbbá teszi a kivitelezést. Ezek a szempontok néhány kritériumot, kérdést megfogalmaznak az antennák kiválasztásával, beállításával kapcsolatban.

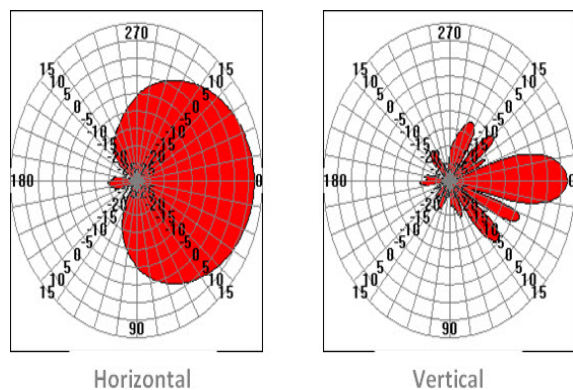
A zavar megelőzésének egyik lehetséges módja a megfelelő bázisállomási antenna kiválasztása, valamint annak optimális beállítása, elhelyezése. Az elhelyezés során arra kell törekedni, hogy az ugyanarra a toronyra telepített PLMN és GSM-R antennák megfelelő mértékben kerüljenek elszeparálásra. Általános szabály, hogy a GSM-R antennát

horizontálisan legalább 1 m, vertikálisan legalább 0,5 m távolságban kell elhelyezni a többi antenától. Fontos kérdés a tiltezés is. A tiltezés segítségével kétféleképpen befolyásolható a szektorsugárzó iránykarakterisztikája: a 13. ábrán látható mechanikus, valamint elektromos úton is, a panel helyzetének megváltoztatása nélkül. A GSM-R há-



13. ábra. Mechanikus tiltezés és hatása a horizontális iránykarakterisztikára [8]

lózat tervezése során arra kell törekedni, hogy a tiltezést minimálisra csökkentve érjük el a kívánt iránykarakterisztikát. A városi, sűrűn lakott, jelentősen terhelt területeken az elektromos tiltezés alkalmazása célszerű, mert az antenna iránykarakterisztikája így rugalmasabban, könnyebben kezelhető, változtatható. A vidéki, kevésbé terhelt bázisállomások antennái esetén alkalmazható a mechanikus tiltezés, itt ugyanis kevésbé kell rugalmasan kezelni az antenna iránykarakterisztikáját, annak megváltoztatását. A 14. ábrán látható horizontális és vertikális szektorsugárzó-antennakarakterisztika segít megérteni a tiltezés kérdéskörének nehézségeit. A GSM-



14. ábra. Horizontális és vertikális antennakarakterisztika [9]

R hálózat tervezése során arra kell törekedni, hogy

a horizontális iránykarakterisztika minél szélesebb, de annál keskenyebb legyen, így igazodva a vasúti alkalmazás igényeihez, miszerint átlapolódó elliptikus cellákkal kell lefedni a vasúti területeket (a vágánymenti lefedettség érdekében). Amennyiben a telepítésre kerülő szektorsugárzó horizontális iránykarakterisztikája nem a megkívánt formájú, úgy az tiltezéssel az alkalmazáshoz igazítható. Ebben az esetben viszont különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a tiltezéssel nem csak az antenna horizontális, hanem a vertikális iránykarakterisztikája is megváltozik, és ez problémát okozhat. A vertikális nyaláb annál jobb, minél keskenyebb, hiszen egy szektorsugárzóval minél pontszerűbb vertikális elérése a cél. Az iránykarakterisztika ezen metszetén gyakran melléknyalábok kialakulását figyelhetjük meg, melyek tiltezés esetén problémát okozhatnak az azonos toronyra szerelt antennák zavarásából, illetve lefedni nem kívánt területek eléréséből adódóan, így a tervezés során különös figyelemmel kell eljárni.

IX. A GSM-R RENDSZER ELEKTROMÁGNESES KOMPATIBILITÁSI KÉRDÉSEI

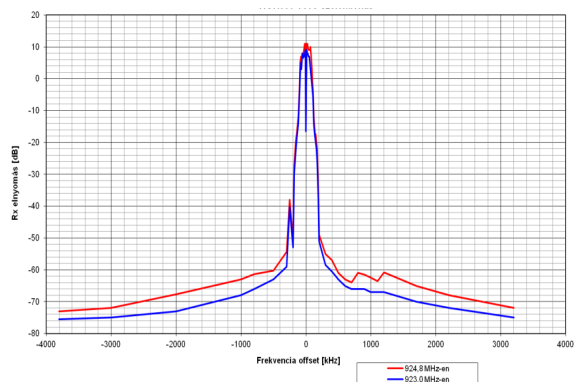
MEGJEGYZÉS: AZ ITT BEMUTATÁSRA KERÜLŐ MÉRÉSI EREDMÉNYEK A NEMZETI MÉDIA- ÉS HÍRKÖZLÉSI HATÓSÁG SZELLEMI TULAJDONÁT KÉPEZIK, MELYEKHEZ GYAKORNOKI MUNKÁM SORÁN JUTOTTAM, AZOKAT A MUNKÁM KERETÉBEN VIZSGÁLTAM, ÉRTÉKELTEM. MIVEL AZ ADATOK, ÁBRÁK ÉS A VÉLEMÉNYEZÉS NEM PUBLIKUS, EZÉRT A DOKUMENTUM TERJESZTÉSE ÉS FELHASZNÁLÁSA NEM LÉPHETI TÚL A TÁVKÖZLÉSI TANSZÉK KERETEIT! AZ ÁBRÁK NEM AZ ÉN SZELLEMI TERMÉKEIM, A VÉLEMÉNYEZÉSRE VISZONT NÉHÁNY JOG FENNTARTVA!

A GSM-R rendszer bevezetésével és elterjedésével fontos kérdéssé vált annak elektromágneses szempontból értelmezett összeférhetősége a már üzemelő rendszerekkel. A kompatibilitás vizsgálata elsősorban azért fontos és indokolt, mert a GSM-sáv kiterjesztésével (E-GSM) a nyilvános mobil hálózatok frekvenciasávja gyakorlatilag közvetlen szomszédja lett a GSM-R részére allokkált frekvenciablokkoknak, nulla frekvenciartománybeli védelmi intervallummal. A két rendszer szimultán működésének köszönhetően a tervezési és kivitelezési fázisok során különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a kölcsönös zavar a lehető legkisebb, minimális legyen.

A GSM-R rendszer bevezetése előtt célszerű tehát megvizsgálni elsősorban azt, hogy a 900 MHz-es sávban működő PLMN BTS-ek mennyire, milyen mértékben, valamint hogyan, milyen szempontból okoznak káros zavart a telepítésre kerülő GSM-R BTS-ek számára. A mobilszolgáltatók a 900 MHz-es sávban három típusú PLMN-hálózatot üzemeltetnek, melyek három típusú csatornasávzélességgel

dolgoznak: GSM (200 kHz), UMTS (5 MHz) és LTE (5 MHz és 10 MHz). Az elektromágneses kompatibilitási vizsgálatok során a következő esetek megvizsgálása szükséges: a kisugárzás során keletkező intermodulációs termékek hatása a GSM-R vevő bemenetén (mellék hullámú sugárzás), a GSM-R vevő bemenetén keletkező intermodulációs termékek hatására, a GSM-R vevő blokkolása, valamint a GSM-R vevő bemenetére kerülő modulálatlan szinuszos vivő hatása.

A vizsgálatok előtt két rendkívül fontos, gyártó-és/vagy eszközspecifikus vevőparamétert kell megvizsgálni: az érzékenységet és a frekvenciaszelektivitást. Nagy GSM-R vevőérzékenység esetén már igen kis szinttel megjelenő intermodulációs termékek is problémát okozhatnak, míg a frekvenciaszelektivitás az intermodulációs termékek frekvenciatartománybeli megjelenési szélességétől függően befolyásolja a zavarás mértékét. Az ideális GSM-R vevő hangolható sáváteresztő szűrővel rendelkezik: a vételi 200 kHz sáv szélességű csatornában tökéletesen átterszt, azon kívül végtelenül meredek levágással semmit nem enged a vevőrendszer bemenetére. Ez nyilvánvalóan kivitelezhetetlen. Egy GSM-R vevő szelektivitására mutat példát a 15. ábra két eltérő GSM-R csatorna vizsgálata esetén. Megállapítható

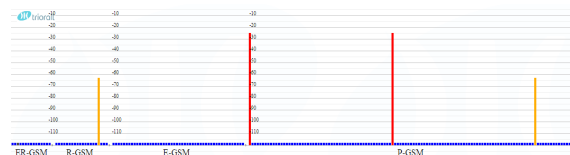


15. ábra. Vevő szelektivitás két eltérő GSM-R csatornában

tehát az is, hogy a szelektivitás a berendezések működési frekvenciájának kis mértékben függvénye.

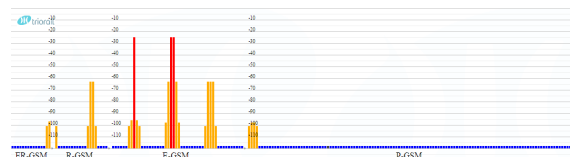
Az intermodulációs termékek vizsgálatának fontosságát célszerű demonstrálni egy példával, ami alátámasztja azt a kérdést, hogy miért van szükség az elektromágneses összeférhetőség vizsgálatára. A demonstrációt egy egyszerű, ingyenes internetes program segítségével végeztem el [10]. A 16. ábra két GSM-R downlink csatorna intermodulációs termékeire mutat példát. Amennyiben egy ARFCN=1, tehát $f = 935,2$ MHz középfrekvenciával rendelkező, 200 kHz sáv szélességű downlink csatorna, valamint egy

ARFCN=55, tehát $f = 946$ MHz középfrekvenciával rendelkező, szintén szabványos 200 kHz sáv szélességű downlink csatorna egyszerre jelenik meg, úgy az létrehoz olyan intermodulációs termék(ek)et, melyek a GSM-R sávban zavaró jelként jelenhetnek meg (a két csatorna teljesítménye egyaránt -25 dBm). A két csatorna hatására két intermodulációs



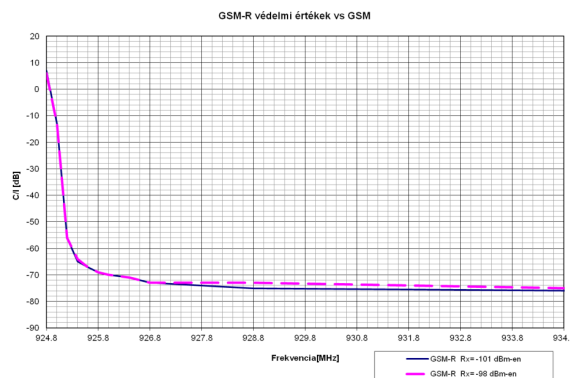
16. ábra. Két GSM downlink-csatorna intermodulációs termékei

termék keletkezik a teljes GSM-sávon belül: egy a számunkra fontos GSM-R sávban belül -63 dBm teljesítményszinttel az ARFCN=971-es csatornában (924,4 MHz), valamint egy másik szintén -63 dBm teljesítményszinttel az ARFCN=109-es csatornában (956,8 MHz). Ennél is nagyobb problémát okozhat három, E-GSM sávban szimultán üzemelő csatorna, miként az a 17. ábrán látható. A három csatorna szé-



17. ábra. Három E-GSM downlink-csatorna intermodulációs termékei

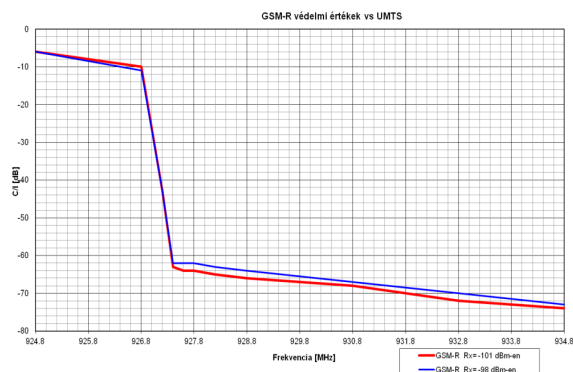
lessávú, nagy jelszintű, burst-szerű zavart hoz létre, ami jelentősen befolyásolhatja a GSM-R rendszereket, így a kompatibilitási vizsgálat egyértelműen indokolt a rendszer bevezetése előtt.



18. ábra. GSM-R-GSM mellék hullámú vizsgálat

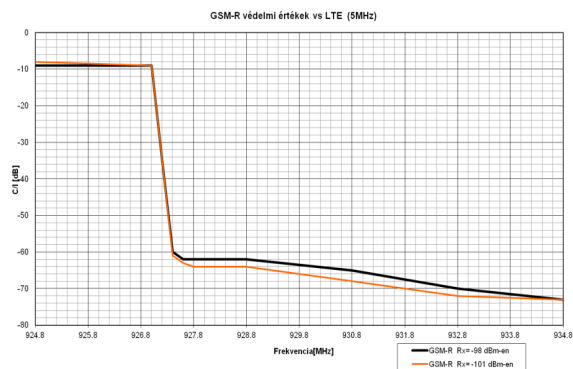
A 18., 19. és 20. ábrák a mellék hullámú sugárzás

elleni védelmet mutatják két különböző GSM-R vételi szint mellett, egy adott gyártó vevője esetén. A



19. ábra. GSM-R-UMTS mellék hullámú vizsgálat

vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy míg GSM-R - GSM zavarás esetén a C/I értéke a frekvenciának jó közelítéssel exponenciális függvénye, addig a szélessávú technológiák (UMTS, LTE) esetén a C/I csökkenése ugrásszerű. Ennek fizikai tartalma, hogy szélessávú rendszerekkel történő interferencia esetén szélesebb frekvenciasávban elegendő igen kis zavaró teljesítményszint a GSM-R összeköttetés minőségének romlásához. Az eredmények a vizsgált vevőkészülékek szempontjából nem mutatnak különbséget.

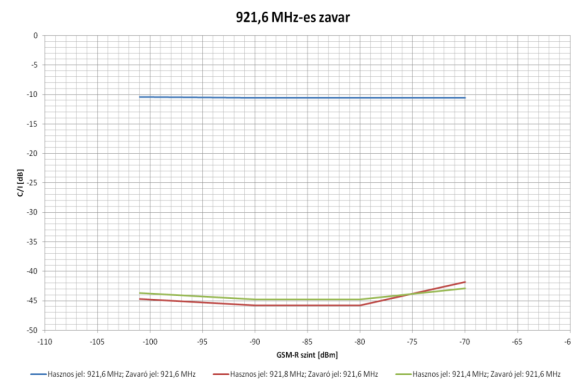


20. ábra. GSM-R-LTE mellék hullámú vizsgálat

A blokkolási vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a vevőkészülékek e tekintetben közel lineáris viselkedést mutatnak: amennyiben növekszik a vételi szint értéke, úgy egyre nagyobb zavaró szint szükségeltetik a blokkolási hatás eléréséhez, ennek értelmében jó közelítéssel lineárisan növekszik a C/I értéke is. A kisugárzott intermodulációs termékek kiszűrésére a mérés során beiktatott szűrő eltávolítása jelentősen befolyásolja a mérési eredményeket: szűrő

nélkül egy adott hasznos vételi szinthez lényegesen kisebb zavaró szint szükséges a blokkolás eléréséhez, mint szűrővel. Ez azt jelenti, hogy a blokkolást jelentősen befolyásolják a zavaró adóban keletkező, kisugárzott intermodulációs termékek, hiszen azok hatása szuperponálódik a tiszta, egyfrekvenciás zavarra, így növelve meg az interferenciát a vevőkészülék bemenetén.

A szinuszos zavaró jellel végzett vizsgálatok eredményei azt mutatták (21. ábra) hogy amennyiben a GSM-R és a zavaró jel frekvenciája megegyezik, úgy a C/I értéke a GSM-R jelszintjétől független, konstans. A függetlenség annak következménye, hogy az ofszet zérus, így nem keletkeznek a vevő bemenetén intermodulációs termékek, így azok nem befolyásolják érdemben a mérési eredményeket. Amennyiben a hasznos és a zavaró jel között frekvencia-ofszet lép fel, úgy a létrejövő intermodulációs termékek a megbontják a szintfüggetlenséget, így C/I értéke a hasznos jel szintjének függvénye lesz.



21. ábra. Egyfrekvenciás zavar vizsgálata

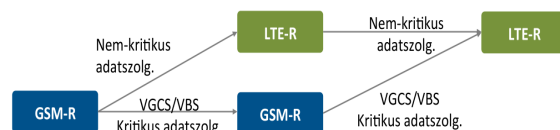
X. A GSM-R JÖVŐJE

Talán nem túlzás azt állítani, hogy a GSM-R jövője már a hazai kivitelezési fázis előtt megpecsételődött. Ha áttekintjük, hogy a nyilvános mobilhálózat miként fejlődött az ezredforduló óta, a generációk miként, milyen sebességgel és milyen elképesztő technológiai fejlődéssel épültek egymásra (GSM, UMTS, LTE), valamint miként bővültek egyre gyorsabban a felhasználói igények, úgy belátható, hogy a vasúti hálózat hogyan, miként fog fejlődni a jövőben.

A GSM-R rendszer komoly korlátokat jelent a jelen és a jövő elvárásainak megvalósításával szemben: viszonylag kis kapacitású rendszerről beszélünk, a forgalmi csatornák szűkösek, ami első sorban a magas prioritású kapcsolatoknál (biztosító

berendezések), határátlépéseknél és a rendkívül forgalmas területeken érzékelhető. A rendszer technológiai elavultsága miatt kis adatátviteli sebességet tud biztosítani a felhasználók számára (9,6 kbps, 150 kbps), és azt is csak igen magas csomagkésleltetéssel ($t > 400$ ms), a modern interaktív-multimédiás szolgáltatások biztosítására éppen ezért alkalmatlan, pedig erre szükség lenne az utasok kiszolgálása során például (szélessávú fedélzeti internet, mint kényelmi szolgáltatás, Facebook, Tumblr, stb.), és akkor még nem is említettük a 900 MHz-es interferenciát a GSM-sávban. Tény továbbá, hogy a vasúti forgalomvezérlés, biztosítás biztonságkritikus rendszerek, robusztusabb, biztonságosabb technológiát igényelnek (RF-szempontról is) [11].

Nagyon valószínű tehát, hogy a GSM-R kiépítése után az gyors technológiai fejlesztésen fog átesni, ráadásul úgy, hogy a vasúti alkalmazások a PLMN generációs evolúciós lépéseit kihagyva rögtön LTE-re fognak áttérni. Ezt érdemes a hálózat kialakítása során figyelembe venni, így olyan eszközöket telepíteni, melyek rugalmasan fejleszthetők a későbbiek során LTE-re. A ZTE [12] nevű cég az egyelőre LTE-R névvel illetett technológia szabványosítását 2020-ra prognosztizálja, annak kiépítését pedig nagyjából 2030-as távlatra teszi. Az LTE spektrumhatékonyabb és robusztusabb technológia (OFDM + MIMO, jobb RF-paraméterek), a rendszeren biztosítható a szélessávú adatátvitel, továbbá késleltetés (regisztráció és csomagkésleltetés) tekintetében sokkal jobb, megbízhatóbb. A ZTE a 22. ábrán látható módon tekint a jövőre. Várhatóan szükség lesz a két



22. ábra. A GSM-R fejlődése a ZTE szerint [11]

technológia, tehát a GSM-R és a tervezett LTE-R szimultán, egyszerre történő működtetésére, hiszen az átállás csak két lépcsőben valósítható meg: elsőként a nem biztonságkritikus alkalmazások helyezhetők át a szélessávú technológiára, majd után a teljes migráció is megvalósítható, mely után a GSM-R összes berendezése kikapcsolható, lecserélhető.

XI. KONKLÚZIÓ

Összefoglalásképpen elmondható, hogy a klasszikus, különféle közegeken különféle technológiákat alkalmazó, éppen ezért nehezen kezelhető és összehangolható vasúti kommunikációs alkalmazások lecserélése, egyetlen technológiára, rendszerre történő illesztése olyan cél, amely önmagában indokoltá

teszi a GSM-R bevezetését és elterjedését. A klasszikus PLMN-technológiára, annak építőelemeire, megoldásaira, de a vasúti alkalmazások biztonságkritikusságát és igényeit figyelembe vevő rendszer megfelelő harmonizációs megoldást biztosít.

Azt viszont látni kell, hogy a GSM-R 900 MHz-es frekvenciakiosztása komoly kérdéseket vet fel az elektromágneses összeférhetőség szempontjából az üzemelő PLMN-hálózatokkal, melyet a bevezetés előtt vizsgálni kell, és a vizsgálati eredményeket mérlegelni szükséges. A GSM-R tervének implementálása során arra is különös figyelmet kell fordítani, hogy a modern technológiai igények figyelembe vételével a rendszer fel legyen készítve a fejlesztésre, és a majdani LTE-re való cserére is. Elmondható, hogy a jelen kérdései nem csak a GSM-R implementálása körül kerülnek feltevésre, az LTE-R már valós jelenkori alternatíva, így biztos, hogy a következő időszakban párhuzamosan fog zajlani a GSM-R hálózatok kialakítása, valamint az új technológia alapjainak lefektetése, szabványosítása. A GSM-R és a vasút távközlési megoldásai tehát még évtizedekig meghatározó szeletet fognak kihasítani a világ távközlési tortájából, így erre a területre kiváltképpen érdemes lesz odafigyelni.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Hillenbrand W. *GSM-R: The Railways Integrated Mobile Communication System*. C. A. Siemens, 1999.,
- [2] www.etsi.org (utolsó látogatás: 2014. október 23).
- [3] <http://www.gsm-rail.com/sites/default/files/documents/MoU.pdf> (utolsó látogatás: 2014. október 20).
- [4] Proakis J. G. *Wiley Encyclopedia of Telecommunications*. Wiley & Sons Publications, New Jersey, 2003.
- [5] Maros D. *GSM. Egyetemi jegyzet*, Óbudai Egyetem, Budapest, 2001.
- [6] <http://computerworld.hu/computerworld/gsm-r-500-kmh-ig.html> (utolsó látogatás: 2014. október 22).
- [7] Agárdi F. *GSM-R projekt*. HTE Infokom 2014, konferencia-előadás, Kecskemét, 2014.
- [8] <http://www.kathrein.pl/download/9986223.pdf> (utolsó látogatás: 2014. október 22).
- [9] <http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx> (utolsó látogatás: 2014. október 24).
- [10] <http://www.triorail.com/trio-im3-sim/> (utolsó látogatás: 2014. október 24).
- [11] Benkovics L. *A GSM-R fejlődése a ZTE szerint*. HTE Infokom 2014, konferencia-előadás, Kecskemét, 2014.
- [12] <http://www.ztehungary.hu/>