

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Diplomová práce

GSM-R technologie v železniční dopravě

Bc. David Pučálka

© 2018 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Pučálka

Informatika

Název práce

GSM-R technologie v železniční dopravě.

Název anglicky

GSM-R the technology in rail transport.

Cíle práce

Diplomová práce je zaměřena na problematiku a postupný rozvoj bezdrátových sítí v železniční dopravě. Cílem této práce je poskytnout přehled o vývoji současného stavu GSM-R technologie a uvedení problematiky bezdrátové komunikace mezi kolejovými vozidly a dispečery.

Metodika

Metodika řešené práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Na základě syntézy teoretických poznatků, budou shrnuty ve vlastním porovnání. V první části práce bude nejprve uveden historický vývoj bezdrátových technologií, které se zkoumanou technologií úzce souvisí.

V praktické části se budou porovnávat výhody a omezení technologie na vhodně zvolené problematice a možnosti využití pro spolupráci s vlakovým zabezpečovačem ERTMS. Dále bude porovnána GSM-R technologie s jednoúčelovým zařízením a odvodit, které řešení je vhodnější z technického a ekonomického hlediska pomocí ukázkového návrhu. Zhodnocení možností vývoje použití GSM-R technologie na základě literární

rešerše a praktické části práce s výhledem do budoucna bude uvedeno v kapitole

Hodnocení a očekávaný vývoj.

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran

Klíčová slova

Bezdrátová komunikace, Base transceiver station (BTS), Global System for Mobile Communications Railway (GSM-R), telekomunikační systém, přenosový systém, radiová stanice.

Doporučené zdroje informací

HEINE, Gunnar. GSM networks: protocols, terminology, and implementation. Boston, Mass.: Artech House, c1999. Artech House mobile communications series. ISBN 0890064717.

HILLEBRAND, Friedhelm. GSM and UMTS: the creation of global mobile communications. New York: Wiley, c2002. ISBN 0470843225.

LOCHMAN, L.: ERTMS/ETCS a jeho uplatnění u Českých drah. In: Sborník z konference ITS '01 Praha. Praha, Sdružení pro dopravní telematiku ČR, květen 2011.

PECHAČ, Pavel, ZVÁNOVEC, Stanislav. Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů. [s.l.] : [s.n.], 2007. 200 s. ISBN 9788073002237.

Russell, Cohn. GSM-R. Published by Book on Demand, Miami, 2015. ISBN 13: 9785508745400.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 6. 6. 2016

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 8. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "GSM-R technologie v železniční dopravě" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.3.2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. a za odbornou konzultaci Ing. Petru Vítkovi.

GSM-R technologie v železniční dopravě

GSM–R Technology in the Railway Transport

Souhrn

Diplomová práce je zaměřena na problematiku bezdrátových komunikačních sítí v železniční dopravě a poskytuje přehled o současném vývoji těchto technologií. Na začátku práce je zmíněna jejich historie a současné bezdrátové telekomunikační sítě v železniční dopravě. Dále je představen systém GSM-R nejen jako nový komunikační prostředek k dosažení vyšší účinnosti a bezpečnosti železničního provozu, ale i jako nosič pro zabezpečovací systém ETCS a je vysvětlena jeho nezbytná součinnost v železniční interoperabilitě. V praktické části je demonstrován návrh pokrytí železniční tratě podle standardů používaných v železniční infrastruktuře a jeho implementování do stávajícího prostředí. V poslední části práce jsou poznatky ekonomicky porovnány a shrnuty v poslední kapitole.

Summary

My thesis is focused on the theme of Wireless Communication Network in the Railway Transport and provides overview about the contemporary development of these technologies. At the beginning of my thesis is mentioned the history of the GSM-R Technology and actual Wireless Networks in the Railway Transport. GSM-R System is introduced not only as new communication way in order to reach higher level of effectiveness and safety of the Railway Traffic, but also as a porter for the security system ETCS. It is also explained the necessary compatibility of GSM-R in the Railway Interoperation. In the practical part of my thesis is demonstrated the design how to cover the Railway Line according to the standards used in the Railway Infrastructure and to implement it to the current situation. All data are summed up and economically compared in the last part of my thesis.

Klíčová slova: Bezdrátová komunikace, Base transceiver station (BTS), Global System for Mobile Communications Railway (GSM-R), telekomunikační systém, přenosový systém, radiová stanice.

Keywords: Wireless Communication, Base transceiver station (BTS), Global System for Mobile Communications Railway (GSM-R), Telecommunication System, Transmittable System, Radiostation.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE A METODIKA	11
3	TEORETICKÁ VÝCHODISKA	12
3.1	Rádiové spoje.....	12
3.2	Rádiová zařízení v železniční dopravě	13
3.3	Základní konfigurace rádiových sítí	14
3.4	Nepříznivé vlivy působící na rádiová spojení	17
3.5	Analogové rádiové spojení	17
3.6	Trat'ový rádiový systém TRS	18
3.7	Směrové rádiové spoje.....	19
3.8	Provoz rádiových stanic na železnici.....	20
3.9	Nástup GSM technologie v železniční dopravě.....	21
3.9.1	Normy a specifikace	21
3.9.2	Vlastnosti GSM-R	23
3.9.3	Požadavky železnic	25
3.9.4	Funkce a aplikace	26
3.9.5	Funkce specifické pro železnice.....	27
3.9.6	Aspekty železničního provozu	29
3.9.7	Železniční aplikace.....	30
3.9.8	Network Coverage and QoS.....	31
3.9.9	Datové a hlasové služby	35
3.9.10	Terminály GSM-R	42
3.9.11	Dostupnost a spolehlivost systému	42
4	PRAKTICKÁ ČÁST.....	44
4.1	Současný stav trati	44
4.2	Navrhovaný stav trati.....	46
4.3	ETCS.....	48
4.4	ETCS a GSM-R	49
4.4.1	Komunikace mezi ETCS a GSM-R	50

4.4.2	EIRENE.....	52
4.5	Návrh technického řešení.....	54
4.5.1	Požadavky na přenosové systémy	55
4.5.2	Přenosové zařízení SDH.....	57
4.6	Plánování rádiového systému	59
4.6.1	Linková rozvaha.....	60
4.6.2	Legislativa rádiových sítí	62
4.7	Pokrytí tratě.....	63
4.7.1	Lokalita Hostivice	64
4.7.2	Lokalita Praha Zličín	65
4.7.3	Lokalita Praha Cibulka.....	66
4.7.4	Lokalita Praha Jinonice	67
4.7.5	Lokalita Praha Konvářka.....	67
4.7.6	Lokalita Praha Hlubočepy	68
4.7.7	Lokalita Praha Smíchov	69
4.8	Měření pokrytí signálem GSM-R	71
4.8.1	Nepříznivé vlivy na rádiový přenos	71
4.8.2	Antény pro BTS.....	72
4.8.3	Vozidlová radiostanice	74
4.8.4	Místní radiostanice	76
4.8.5	Mobilní radiostanice.....	77
5	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ	78
5.1	Ekonomické a implementační aspekty GSM-R.....	78
5.2	Hodnocení a očekávaný vývoj.....	81
6	ZÁVĚR.....	82
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	83
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	85
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM TABULEK.....	89

1 ÚVOD

GSM-R je komunikační systém pro železniční síť, který využívá technologie GSM a specifické aplikace pro železniční provoz. Tento komunikační systém, byl vyvinutý v rámci projektu financovaného Evropskou unií s využitím standardů vypracovaných skupinou EIRENE, ve které působí zástupci všech hlavních evropských železničních společností.

Tento komunikační systém musí splňovat obchodní záměry železnic, jako jsou interoperabilita v komunikačních systémech národních a mezinárodních železničních sítích. Nasazením toho systému dojde ke zlepšení provozních vlastností, aby bylo dosaženo vyšší účinnosti, bezpečnosti a spolehlivosti pro uspokojení cestujících. Vytvořením dodatečných zhodnocovacích služeb, se zvýší přitažlivost pro cestující a je možný případný vstup nových železničních dopravců. Pevné železniční telekomunikační sítě mají již delší dobu v držení účinnou digitální komunikační platformu založenou na mezinárodních standardech, které dovolují realizaci sítě GSM-R do tohoto prostředí.

Dalším účelem GSM-R je jeho použití jako datového nosiče pro systém služeb ETCS k řízení železniční dopravy a nahrazení většiny stávajících analogových rádiových systémů za účelem snížení nákladů na údržbu. Systém železničních služeb se musí spoléhat na koordinovanou součinnost obsluh a nástrojů informačních technologií umístěných v pevných a pohyblivých místech. To znamená, že systém vyžaduje spolehlivý dialog mezi obsluhou a vzdálenými neobsluhovanými místy a neustálý přístup k informačním sensorům zabezpečovacího zařízení.

2 CÍL PRÁCE A METODIKA

Diplomová práce je zaměřena na problematiku a postupný rozvoj bezdrátových sítí v železniční dopravě. Cílem této práce je poskytnout přehled o vývoji současného stavu GSM-R technologie a uvedení problematiky bezdrátové komunikace mezi kolejovými vozidly a dispečery.

Metodika řešené práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Na základě syntézy teoretických poznatků, budou shrnuty ve vlastním porovnání. V první části práce bude nejprve uveden historický vývoj bezdrátových technologií, který se zkoumaným tématem úzce souvisí. V praktické části se budou porovnávat výhody a omezení technologie na vhodně zvolené problematice a možnosti využití pro spolupráci s vlakovým zabezpečovačem ETCS. Dále bude porovnána GSM-R technologie s jednoúčelovým zařízením a bude odvozeno, které řešení je vhodnější z technického a ekonomického hlediska pomocí ukázkového návrhu.

Zhodnocení možností vývoje použití GSM-R technologie na základě literární rešerše a praktické části práce s výhledem do budoucna bude uvedeno v kapitole „Hodnocení a očekávaný vývoj“.

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Většina evropských železničních telekomunikačních sítí využívá různé systémy pro různé aplikace a uživatele. Typicky tyto systémy patří do dřívějších generací rádiových systémů, využívající analogovou technologii a různá kmitočtová pásma s omezenými možnostmi.

3.1 Rádiové spoje

Rádiové spoje se vyvíjely souběžně nebo s určitým zpožděním s telekomunikačními přenosovými systémy používajícími metalická vedení. Stejně jako u nosných nebo číslicových přenosových systémů, u kterých se s jejich vývojem postupně zvětšoval počet přenášených kanálů, umožňovaly i rádiové spoje při svém vývoji přenosy stále většího množství informací. V období mezi dvěma světovými válkami došlo k rozvoji málo-kanálových rádiových systémů pracujících na krátkých vlnách, které přenášely jeden až čtyři telefonní hovory.

Do pásma krátkých vln patří vlny od 100 do 10 metrů, což odpovídá kmitočtům od 3 do 30 MHz. Podobně jako vlny střední a dlouhé mohou se i krátké vlny šířit jako přízemní a jako prostorové vlny. Vlivem velkého útlumu krátkých vln nad polovodivou zemí se přízemní vlny při obvykle používaných výkonech šíří pouze do vzdáleností nepřesahujících několik desítek kilometrů. Při prostorovém šíření rádiových vln nastávají jednoduché nebo několikanásobné odrazy od ionosféry, takže lze krátké vlny použít pro spojení na velké vzdálenosti. Krátké vlny jsou při odrazu od ionosféry podrobeny malému útlumu, který se oproti útlumu přízemních vln v zemi zmenšuje s rostoucím kmitočtem. Po druhé světové válce došlo k velkému rozvoji pozemních mikrovlnných radioreleových spojů. V sedmdesátých letech došlo potom k rozsáhlému využití telekomunikačních družic pro spojení na velké vzdálenosti, které postupně byly nahrazovány optickými kabely s větší přenosovou kapacitou dat. Tento rychlý vývoj radiotelekomunikační techniky vedl k rozsáhlému používání ultra krátkých vln, které odpovídají rozsahu 300 až 3000 MHz. V tomto pásmu pracují digitální televize a moderní digitální telekomunikační prostředky.

3.2 Rádiová zařízení v železniční dopravě

V některých případech nelze používat v železniční dopravě z technických, popřípadě technologických důvodů sdělovací zařízení s přenosem signálů po vedení. Pro takové účely jsou rádiová zařízení jedním z nezbytných prostředků, umožňujících vzájemnou komunikaci mezi pohyblivými a pevnými účastníky rádiové sítě. Rádiová technika slouží v železniční dopravě nejen k přímému řízení řady technologických procesů, ale i k uplatňování nových metod práce v systému řízení železniční dopravy. Používání rádiových prostředků bezprostředně ovlivňuje kvalitativní i kvantitativní ukazatele pracovních činností v železničním provozu, zvyšuje bezpečnost při práci a významným způsobem se podílí na zvyšování výkonnosti dopravního a přepravního procesu na železnici.

Mezi hlavní směry využívání rádiových zařízení v železniční dopravě patří místní rádiové sítě v železničních stanicích, mezistaničních úsecích a uzlech určených pro vzájemné spojení vybraných účastníků železničního provozu. Tyto rádiové sítě jsou ve stanicích a uzlech charakterizovány cyklicky proměnným provozním režimem v konstantním pracovním prostoru. V mezistaničních úsecích se místní rádiové sítě zřizují pro účastníky provozně technických odvětví železniční dopravy k zajišťování operativní činnosti v železničním provozu.

Dále se využívají traťové stuhové rádiové sítě pro vzájemné spojení mezi jedoucím vlakem a pevnými stanovišti podél traťového úseku. Tyto sítě umožňují radiotelefonní spojení dispečera nebo výpravčích vlaků se strojvedoucím hnacího vozidla. Z hlediska časového provozního režimu jsou tyto okruhy charakterizovány nepřetržitým provozem. Speciální rádiové sítě se zřizovaly pro dálkové ovládání hnacích vozidel, dálkové ovládání pevných a pohyblivých železničních mechanismů, pro přenos kódových informací, telemetrie a výstražných signálů. U těchto speciálních rádiových sítí je kladen větší důraz na bezchybnost a spolehlivost. V železničních stanicích a uzlech se používaly radiostanice provozované v plošných rádiových sítích pro řízení nejrůznějších technologických procesů. K optimálnímu využití určeného počtu kmitočtových kanálů byly vytvořeny typové rádiové sítě.

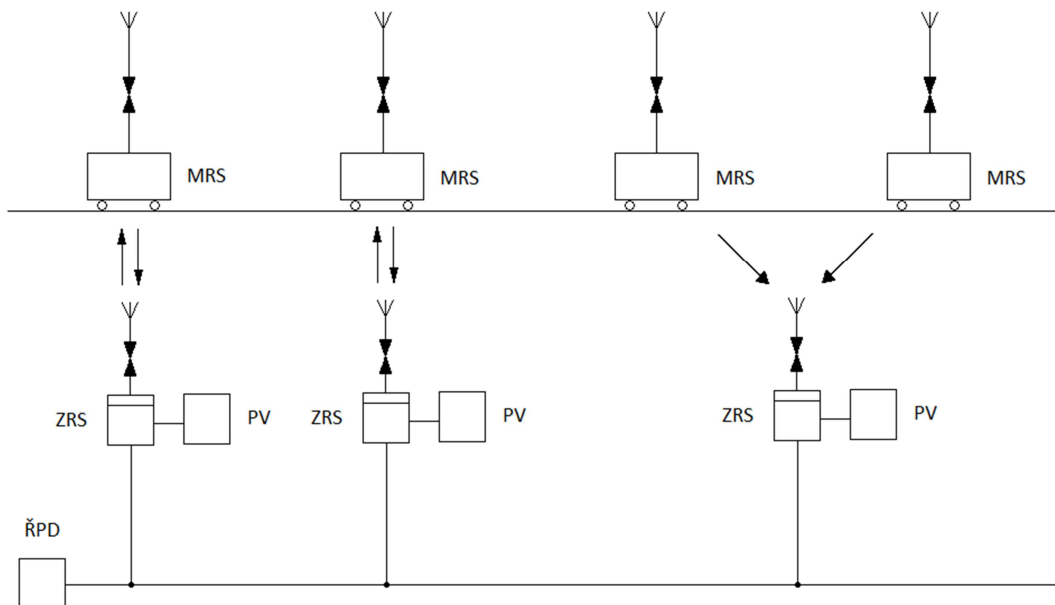
3.3 Základní konfigurace rádiových sítí

V železničním provozu se radiová spojení uskutečňují v rádiových směrech a v rádiových sítích. Rádiovým směrem se označuje spojení, při kterém spolupracují dvě radiostanice v simplexním nebo duplexním provozu. Při simplexním provozu se zpráva předává střídavě, vždy pouze v jednom směru a na jednom frekvenčním kanálu. Duplexní spojení umožňuje předávání zpráv v obou směrech současně na dvou frekvenčních kanálech. V souladu s radiokomunikačním řádem lze uskutečňovat radiová spojení v pásmu krátkých vln (3 až 30MHz), velmi krátkých vln (30 až 300MHz) a ultrakrátkých vln (300 až 3000MHz). V rádiové síti se uskutečňují spojení mezi více radiostanicemi. Podle základní konfigurace dělíme rádiové sítě na:

- Plošné mřížové.
- Plošné hvězdicové.
- Traťové stuhové.

Plošné rádiové sítě se v železniční dopravě používají především v železničních stanicích a uzlech. V plošné mřížové rádiové síti mohou rádiové stanice mezi sebou navazovat vzájemné spojení, což je hojně používáno na seřadovacích nádražích při komunikaci pracovníků v kolejišti. V plošné hvězdicové rádiové síti má řídicí rádiová stanice možnost uskutečňovat spojení se všemi rádiovými stanicemi hvězdicové sítě. Zvláštním druhem železniční rádiové sítě je stuhová rádiová síť, určená pro traťové radiové spoje. Tato síť umožňuje například radiové spojení dispečera a výpravčích s hnacími vozidly, popřípadě některých hnacích vozidel mezi sebou. Níže na obrázku č. 1 je znázorněn základní princip stuhové traťové rádiové sítě, kde znamená MRS – mobilní rádiové stanice, ZRS – základní rádiové stanice, ŘPD – řídicí pracoviště dispečera a PV – pracoviště výpravčího. Pro železniční dopravu byly resortem spojů uvolněny pro provoz rádiových zařízení kmitočtové úseky a kmitočtové kanály v pásmech 150, 300 a 460 MHz. K přednostnímu využití pro duplexní spojení je určeno 8 traťových sdružených kmitočtových kanálů. Jeden sdružený kanál představuje čtveřici kmitočtů s duplexním odstupem 10 MHz a roztečí mezi kmitočty vysílačů základnových stanic 50 kHz. V omezeném rozsahu lze toto pásmo využívat i pro některé místní rádiové sítě, například pro technologické sítě přepravního zabezpečení.

Obrázek č. 1: Základní princip stuhové traťové rádiové sítě



Zdroj: DUŠÁK, Karel a Josef KVASIL. *Telekomunikační technika v železniční dopravě*. Praha: Nadas, 1990. ISBN 81-632-0198-2.

Charakteristickým znakem stuhové sítě je paralelní chod vysílačů řady základnových rádiových stanic, který je nutný k pokrytí požadované délky traťového úseku rádiovým spojením. Z řídicího pracoviště dispečera je možné komunikovat buď fónickým přenosem, nebo přenosem kódových informací určeného významu s kteroukoli mobilní radiostanicí na hnacím vozidle, nalézajícím se v libovolném místě řízeného úseku. Kromě toho je možno komunikovat s mobilní radiostanicí i z decentralizovaných základnových rádiových stanic rozmístěných na trati. Z mobilní radiostanice na hnacím vozidle může strojvedoucí volat dispečera nebo výpravčího nejbližší železniční stanice, vybavenou základnovou rádiovou stanicí. Mobilní radiostanice MRS se volá z řídicího pracoviště dispečera individuální selektivní volbou tedy číslem vlaku.

Pro naléhavé případy volání je určena volba skupinová, umožňující sdělení důležité zprávy všem vlakům v řízeném traťovém úseku. Pro jeden řízený traťový úsek se používají čtyři kmitočtové kanály. U mobilní radiostanice lze jednotlivé kmitočty přepínat na příjem podle toho, ve kterém traťovém úseku se hnací vozidlo nalézá. Řídicí pracoviště dispečera je propojeno čtyřdrátovým vedením se všemi základnovými

radiostanicemi v řízeném traťovém úseku. Ke vzájemnému propojení modulace vysílačů a nízkofrekvenčního výstupu přijímačů je však možno použít nejen vedení v kabelu, ale i kanál nosné telefonie. Základnové radiostanice rozmístěné podél trati jsou trvale zapnuty, vysílače a jejich nosné kmitočty jsou modulovány tónem volného kanálu. Při zahájení vysílání kterékoli mobilní radiostanice v příslušném traťovém úseku se přeruší modulace volného kanálu. Rovněž nosný kmitočet vysílače mobilní radiostanice se moduluje tzv. pilotním tónem, který je vyhodnocován v každé základnové radiostanici. Na výstupu hovorového spektra se tento tón potlačuje, tudíž rušivě neovlivňuje hovor. Pilotní tón zamezuje paralelní připojení několika nízkofrekvenčních výstupů přijímačů na vedení k ŘPD. Tím se odstraní rušivé účinky, které by vznikaly v důsledku rozdílných fázových poměrů více signálů. Z vozidlové MRS se k ZRS vysílá pouze jediný kmitočet, společný pro celý úsek traťové stuhové rádiové sítě. Na přijímače ZRS pak přichází zpravidla vstupní úroveň užitečná u několika sousedních radiostanic. Pilotní tón ovládá u každé ZRS relé, jehož přepínací kontakty připojují nízkofrekvenční výstup přijímače k ŘPD a současně odpojují část vedení od vzdálenějších ZRS.

V opačném směru od ZRS k MRS může být vysílán jen jediný kmitočet ze tří, proto nemůže dojít k vzájemnému rušení. Řídicí pracoviště dispečera u jednotlivých ZRS mají jen zjednodušené ovládání bez selektivní volby. Během komunikace dispečera se strojvedoucím hnacího vozidla vybaveného MRS, prostřednictvím odpovídající ZRS, jsou všechny ostatní MRS blokovány a nemohou vysílat. Jedině za mimořádných okolností po stisknutí nouzového tlačítka na MRS dojde ke zrušení blokování vysílače a jeho nosná vlna se moduluje tónem nouzového signálu. Příslušná ZRS, která tento signál přijala, propojí MRS hnacího vozidla, kde je přijímán nouzový signál společně s hovorem. Po stisknutí tlačítka pro nouzové a skupinové volání může dispečer hovořit se strojvedoucím hnacího vozidla, z něhož bylo vysíláno nouzové volání. Totéž tlačítko může použít dispečer v případě, kdy neumožňuje selektivní volba okamžité zahájení hovoru. Při tomto volání se s hovorem vysílá tón, po jehož vyhodnocení se na všech MRS nalézajících se v celém řízeném traťovém úseku připojí reproduktory radiostanic.

3.4 Nepříznivé vlivy působící na rádiová spojení

Srozumitelnost přenášených informací rádiových spojení nepříznivě ovlivňují především různé druhy rušení. Jejich existence je dána zejména specifickými podmínkami provozu železničních rádiových sítí:

- Bezprostřední blízkostí pevných a pohyblivých trakčních zařízení.
- Umístěním rádiových stanic na pohybujících se hnacích vozidlech.
- Provozem rádiových sítí a směrů v hustém seskupení na malém územním prostoru.

S ohledem na příčiny, které rušivé účinky vyvolávají, je možno rozdělit rušení na impulsní, interferenční a intermodulační. Možnosti vzniku rušivého ovlivňování jednotlivých rádiových směrů a sítí lze vyloučit dodržováním zásad územního rozdělení vybraných kmitočtových kanálů v železniční síti. Územní rozdělení kmitočtů bylo stanoveno na základě rozložení železničních stanic a uzlů s ohledem na respektování technologie využití rádiových směrů a sítí v železničním provozu. Celá železniční síť je rozdělena na 35 rádiových oblastí. Zásadou pro územní rozdělení je zachování stanovené vzdálenosti mezi dvěma stejnými kmitočtovými kanály radiostanic v jednotlivých kmitočtových pásmech s danými vysokofrekvenčními výkony. Při nevhodném použití kmitočtových kanálů může vzniknout vzájemné rušení rádiových komunikací intermodulačními přeslechy.

Při směšování několika kmitočtů vzniká na nelineárním prvku řada dalších kmitočtů, které jsou dány součtem a rozdíly základních harmonických složek. Rušivé jsou zejména ty, které spadají do provozovaného kmitočtového pásma, mají vysokou úroveň výkonu a značnou a pravděpodobnost vzniku. K zamezení nežádoucích přeslechů je nutno vyloučit především intermodulace při současném vysílání tří až pěti radiostanic na určitých kmitočtech.

3.5 Analogové rádiové spojení

Rádiový systém Tesla – Selectic, používaný v železničním rádiovém provozu, tvoří soubor základnových, vozidlových a přenosových radiostanic. Tento systém umožňuje komunikaci mezi pevnými a pohyblivými účastníky rádiové sítě. Soubor radiostanic Tesla – Selectic, používaný v železničních sítích v pásmu 150 MHz,

nahradil dříve používaný jednosměrný (simplexní) spojení mezi účastníky. Stavební koncepce systému Selectic umožňovala řadu variantních použití v různých typech rádiových sítí a směrů. Konstrukce systému byla odvozena z křemíkové polovodičové součástkové základny. Logické obvody obsahovaly číslicové integrované obvody pro řešení postupné selektivní volby s využitím piezokeramickými rezonátory a filtry.

Pro volání radiostanic se používala selektivní volba, například v sítích s kapacitou sto účastníků byla čísla začínající nulou určena pro volání sedmi účastníků základnových radiostanic, dvou, respektive tří skupin účastníků přenosných radiostanic a devadesáti účastníků mobilních vozidlových radiostanic. Účastník základnové radiostanice volal vozidlové radiostanice volbou čísla 10 až 99. Kód každé číslice tvoří dva tóny vysílané 50 ms. Doba vysílání kódu jedné číslice činila tedy 100 ms, celého čísla 200 ms. Vysílání kódu volby ze základnové radiostanice se automaticky opakovalo, čímž se zvyšovala spolehlivost přenosu volby. Opakování skončilo po přijetí kódu vysílaného z vozidlové radiostanice nebo po zapnutí vysílače základnové radiostanice při navázání spojení.

3.6 Traťový rádiový systém TRS

Systém TRS byl vyvinut v devadesátých letech minulého století Teslou Pardubice. Umožňoval duplexní (obousměrnou) komunikaci mezi dvěma účastníky a jeho velkou výhodou byla možnost dálkového zastavení vlaku funkcí „stop“, případně bylo možné zastavit všechny vlaky v dosahu základnové radiostanice funkcí „general stop“. Technologie tohoto systému je řešena tak, že podél traťových úseků a ve stanicích jsou umístěny základnové radiostanice podobně jako u systému GSM-R. Základnové radiostanice vysílají tzv. nosnou frekvenci s trvalým signálem vysokého kmitočtu. Signál skončí, probíhá-li hlasová komunikace nebo kódované příkazy.

Tento systém radiové komunikace dosahoval celkem dobré dostupnosti a byl nasazován na všechny důležité tranzitní tratě. Traťový rádiový systém TRS byl montován do hnacích vozidel nejenom v Čechách, ale i na Slovensku pro usnadnění přetahu mezistátních spojů.

3.7 Směrové rádiové spoje

Se směrovým rádiovým spojením bylo počítáno především v nižších úrovních služební telefonní sítě, dále pro přechodná spojení při mimořádných a velkých havarijních situacích na standardních okruzích po vedení i pro specifické druhy provozu rádiových sítí se základnovými radiostanicemi. Svazky dálkových okruhů se rozdělují do dvou nebo více sekcí a to do radioreléových nebo do kabelových, čímž se zvyšuje provozní spolehlivost celé telekomunikační sítě.

Radioreléové systémy umožňovaly zřizování sdělovacích spojů pomocí radioreléových stanic rozmístěných v určitých vzdálenostech. V některých případech se na trase používají pasivní reléové body, které tvoří odrazové desky. Mezi reléovými body je nutná optická viditelnost. Systémy mohou přenášet všechny druhy signálů od telefonních až po televizní přenos. U magistrálních radioreléových spojů je charakteristické, že přenosový systém umožňuje mezi koncovými stanicemi zřízení šesti nebo osmi obousměrných širokopásmových kanálů. Každý kanál odpovídá šířkou přenášeného pásma dvojici trubek koaxiálního kabelu. Přitom se koncová zařízení radioreléového spoje vyvažují několikanásobně. Spolehlivost dálkového provozu se zabezpečuje ponecháním jednoho nebo dvou kanálů jako náhradních. Při poruše nebo při zhoršené kvalitě přenosu na některém provozním kanálu se přepne za 20 ms na náhradní přenosový kanál.

Dalším specifickým znakem dálkových radioreléových systémů je, že potřebují jako nezbytnou součást vybavení koncová nízkofrekvenční zařízení kabelového typu. Tato zařízení se zpravidla umísťují v zesilovací stanici a připojují se vysokofrekvenčním kabelem ke koncové radioreléové stanici. Nízkofrekvenční vedení ze zesilovací stanice se připojují nízkofrekvenčním kabelem do meziměstské ústředny telekomunikační sítě. Kmitočtový plán schválený tehdejším resortem spojů umožňoval používat v pásmu 400 MHz směrové spoje. Ke vhodným zařízením pro směrové spoje patří čtyř kanálové radiostanice Tesla 806. Při použití přídavných zařízení umožňoval v kmitočtovém pásmu telefonního kanálu přenos signálů pro telemechanizační zařízení.

3.8 Provoz rádiových stanic na železnici

Základní pokyny pro provoz rádiových stanic na železnici obsahuje služební předpis SŽDC Z11 Předpis pro obsluhu rádiových zařízení, který je závazný pro všechna služební odvětví a dopravce používající železniční síť správy železniční dopravní cesty. Tento předpis v souladu se zákonem o telekomunikacích a jeho prováděcí vyhlášky vymezuje rozsah působnosti organizací železniční dopravy při povolování provozu rádiových stanic, zpracování a projednávání kmitočtových řešení a kmitočtových koordinací pro železniční radiotelefonní komunikace.

Rádiové stanice v železniční dopravě musí splňovat řadu specifických požadavků pro provoz v železničních rádiových sítích. Hospodárné využívání přidělených kmitočtových kanálů a podmínky pro vzájemnou kompatibilitu v rádiových sítích. Potlačení rušivých signálů u vzdálených radiostanic pracujících na stejných kmitočtových kanálech, jakož i u blízkých radiostanic komunikujících na kmitočtových kanálech rozdílných od pásma pracovních kmitočtů radiostanic vlastního systému. Podle ustanovení odborových a státních norem i mezinárodních doporučení jsou nezbytné ochrany před nebezpečným dotykovým napětím, především ve stanicích a na tratích s elektrickou trakční soustavou. V pásmu 150 MHz mohou rádiové stanice pracovat pouze v simplexním provozu, v pásmu 300 MHz a 460 MHz v duplexním nebo simplexním provozu.

Rádiové stanice mohou být napájeny z primárních nebo sekundárních zdrojů, vždy je kladen důraz na záložní zdroj v případě výpadku hlavního zdroje. Jmenovitá vstupní impedance radiostanic, přizpůsobených pro připojení koaxiálního napáječe, musí činit 50 Ω , popřípadě 75 Ω , přičemž hodnota 75 Ω se nepovažuje za perspektivní. Případný zkrat na výstupu vysílače, odpojení antény a činnost vysílače při zvýšeném poměru stojatých vln na napáječi nesmí způsobit poruchu radiostanic. Měření základních parametrů musí být umožněno bez sejmutí krytů radiostanic, z důvodu nedovolené manipulace. Případné výjimky musí být uvedeny v technických podmínkách a zajištěny revizní plombou.

3.9 Nástup GSM technologie v železniční dopravě

Většina evropských železničních telekomunikačních sítí využívá různé systémy pro různé aplikace a uživatele. Typicky tyto systémy patří do dřívějších generací rádiových systémů, využívající analogovou technologii a různá kmitočtová pásma s omezenými aplikacemi a možnostmi. V důsledku neefektivního využití rádiového kmitočtového pásma, vysokých nákladů na provoz a údržbu a omezené interoperability mezi železničními sítěmi, byl předložen koncept GSM-R. Záměrem bylo vyvinout celoevropský systém, zajišťující potřebu mobilní komunikace evropských železnic, s využitím aktuálního stavu techniky a vytvořením vývojové cesty pro budoucí potřeby železnic.

Systém GSM-R zahrne hlasové a datové komunikace mezi vlakem a dispečerem spolu pod dohledem zabezpečovacího zařízení. Déle tento systém umožní mezinárodní interoperabilitu mezi národními železnicemi tím, že využije přidělené pásmo 4 MHz a tak uvolní většinu dříve obsazeného kmitočtového spektra. Zdokonalení infrastruktury umožní operátorům snížit celkové provozní náklady. Možnosti přepravních sítí budou rovněž zlepšeny, protože GSM-R zvýší kvalitu služby a zajistí nezkreslenou hlasovou i datovou komunikaci pro vysokorychlostní vlaky.

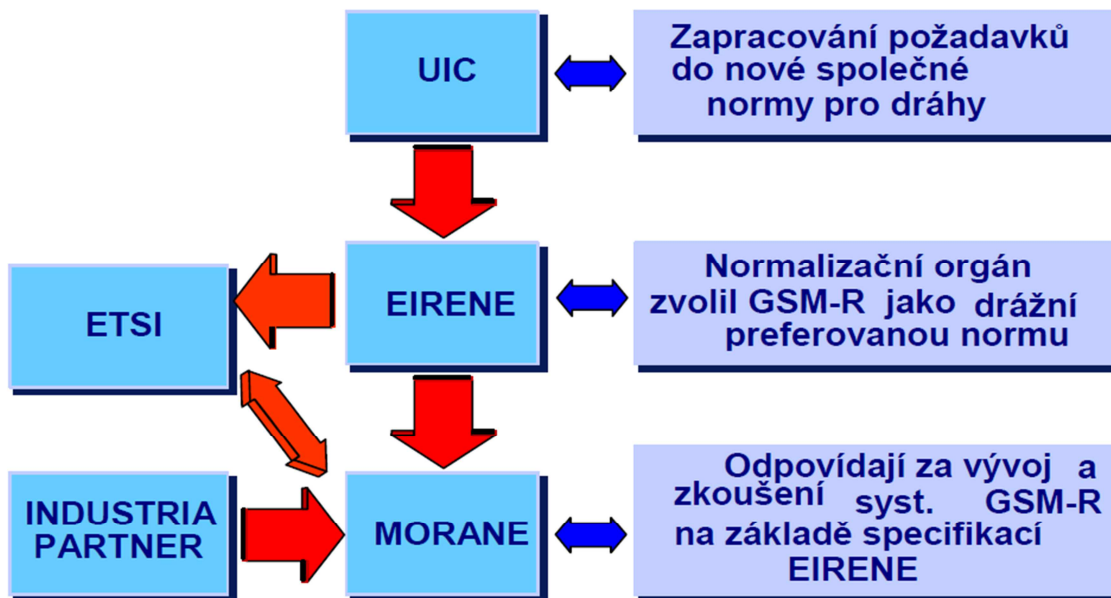
3.9.1 Normy a specifikace

Do standardizace požadavků na GSM-R bylo zapojeno mnoho organizací. Akce započala tak, že členové UIC v roce 1992 iniciovali práce na nové specifikaci s názvem EIRENE, která měla definovat rádiové systémy, uspokojující požadavky evropských železnic na mobilní rádiové spojení. Skupina EIRENE je odpovědná za vývoj specifikací ve spolupráci s ETSI (Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích) a s konsorciem MORANE.

MORANE je konsorcium provozovatelů železnic, výrobců, prodejců a výzkumných organizací spolupracujících na záměru zajistit komunikační síť zaměřenou na využití v železničním provozu strojvedoucími, traťovými dispečery a údržbářskými týmy. Projekt MORANE byl organizován a financován Evropskou komisí a je zaměřen na přispění k interoperabilitě evropských železnic. Celkovým cílem projektu MORANE je specifikovat, vyvinout, vyzkoušet a validovat prototypy tohoto

nového rádiového systému, který splní globální požadavky železnic. Následující schéma ukazuje vztah mezi různými institucemi, zapojenými do definování a standardizace požadavků na GSM-R:

Obrázek č. 2: Vztahy mezi institucemi



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

V roce 1993 byl systém GSM-R vybrán jako standard pro železniční komunikační systémy a UIC požádalo ETSI na konci roku 1993, aby zavedlo speciální vlastnosti ASCI do technických specifikací GSM, aby tento systém mohl vyhovět speciálním potřebám železnic. GSM-R se stal systémem pro mobilní komunikaci v železniční dopravě a v prvním kroku se používal k nahrazení existujícího analogového rádiového systému. Dalším krokem pak bude použití GSM-R jako datového nosiče pro službu vlakového zabezpečovače ETCS úrovně 2 a vyšší. Firma Nortel je aktivním členem MORANE, zapojená do definování a plynulého zdokonalování standardů a specifikací GSM-R prostřednictvím ETSI a MORANE. Nortel byl vybrán, aby vybavil všechny čtyři zkušební tratě terminály a infrastrukturou pro měření hlasových kanálů. Nortel je rovněž mezi prvními, kteří demonstrovali zkouškami vlastnosti ASCI a je to jediný dodavatel, který uskutečnil zkoušky na vysokorychlostních vlacích. Díky

těmto zkušenostem Nortel dále zdokonalil současný produkt a definoval budoucí výrobní plány a požadavky.

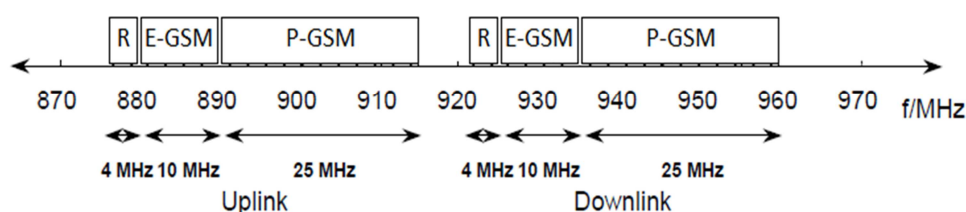
V průběhu své práce UIC v období 1985 až 1989 dospěla k závěru, že bude muset být provedeno vyjednávání s CEPT pro přidělení určitého pásma GSM-R v důsledku trvalých rostoucích potřeb na přenos. Při opětovném studiu požadavků byl posuzován systém GSM a nově i TETRA. Studie byly provedeny na třech zkušebních modelech v Londýně, Paříži a Mnichově. Nakonec bylo rozhodnuto o přijetí GSM, který byl v té době jediným systémem v komerčním provozu s dostupnými produkty. Splňoval jeden z hlavních cílů, použít systém, který bude již osvědčen.

UIC v projektu EIRENE vyvinul sadu specifikací pro evropské železnice, které jsou součástí specifikace pro technickou interoperabilitu podle požadavků a směrnic pro interoperabilitu transevropského vysokorychlostního železničního systému. EIRENE jsou specifikace definující rádiový systém splňující mobilní komunikační požadavky evropských železnic, zahrnující hlasovou a datovou komunikaci.

3.9.2 Vlastnosti GSM-R

Řešení GSM-R je uzpůsobeno železničním operátorům tak, aby docílili interoperabilitu vůči dalším železničním sítím, zvýšili provozní efektivitu a snížili provozní náklady. Všechny železniční nároky na telekomunikace včetně přenosu hlasu a dat jsou podporovány komplexní sítí GSM-R.

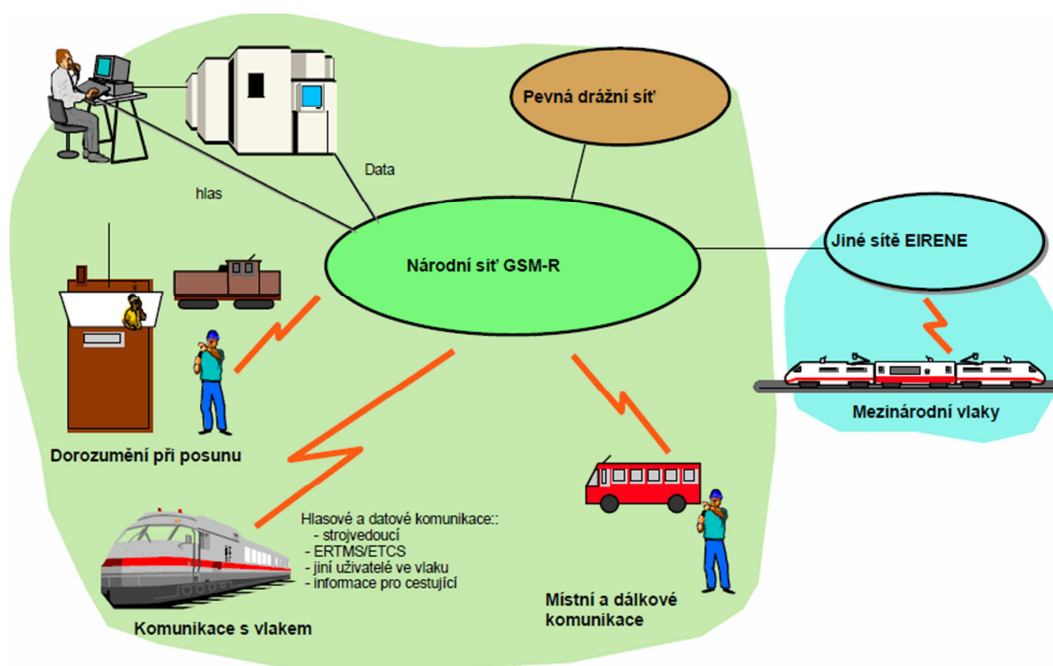
Obrázek č. 3: Kmitočtové pásmo



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

GSM-R využívá standardní technologii GSM a má další vlastnosti uzpůsobené pro železniční provoz. Funkce GPRS (General Packet Radio Service) je hlavní částí GSM-R pro přenos dat, která podporuje aplikace jako je vlakový zabezpečovač a dálkové řízení. Ve všech sítích GSM-R se používá společné kmitočtové pásmo, aby se dosáhla mezinárodní interoperabilita a náležitě se využilo přidělené kmitočtové spektrum.

Obrázek č. 4: Interoperabilita jednotlivých sítí



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

V rámci GSM-R mohou být využity i jiné aplikace nebo služby cestujícím, jako je prodej jízdenek za jízdy, okamžité informace o železničním provozu a posléze i zábava a umožnění cestujícím z jedoucího vlaku komunikovat. Uživatelé mohou být do sítě zapojeni i přes stacionární stanice veřejného operátora za předpokladu, že mezi železnicí a operátorem je podepsaná dohoda o roamingu. Při tom jsou ovšem k dispozici jen funkce, zajišťované veřejným operátorem.

3.9.3 Požadavky železnic

Síť GSM-R je zcela založena na technologii GSM, ověřené celosvětově mnoha veřejnými operátory a uživateli. Řada specifických železničních aplikací vyžaduje mnoho modifikací a doplnění stávající technologie, aby se tyto přídavné vlastnosti zajistili a udržela se vysoká jakost služby i při komunikaci s vlaky za vysokých rychlostí. Nejdůležitější je, že přísně požadovaná spolehlivost za provozu a při nouzových situacích na železnicích vyžaduje, aby již spolehlivá GSM síť zahrnula další opatření pro redundanci a dostupnost sítě.

Obrázek č. 5: Požadavky drah na provoz



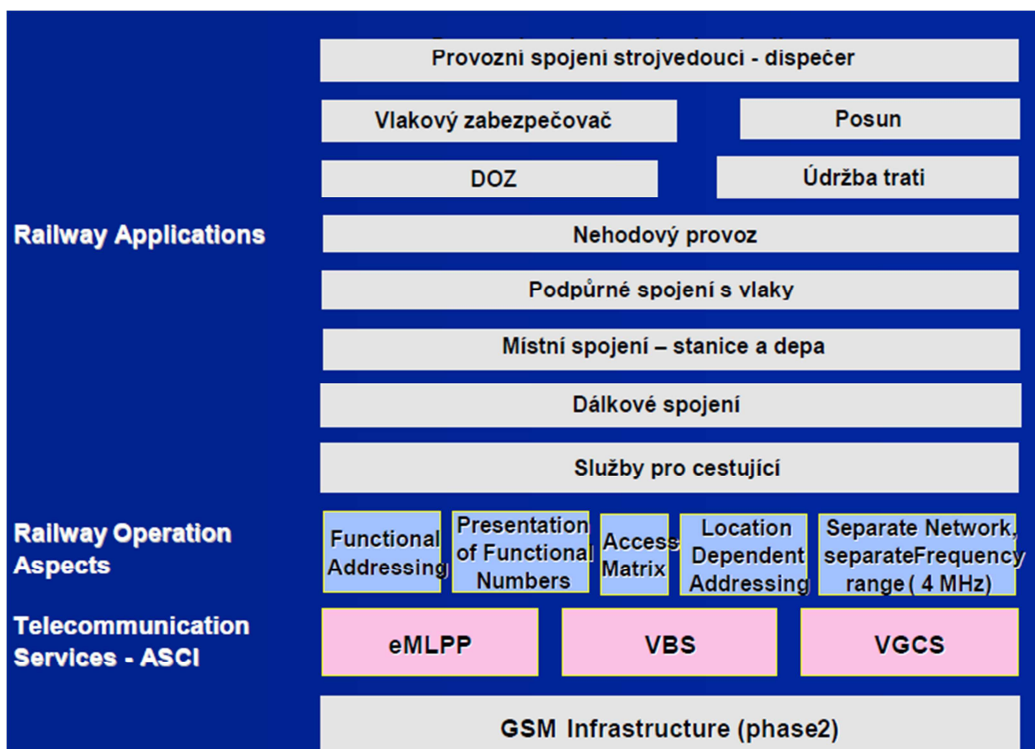
Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

Každá národní síť GSM-R může být založena na jednom nebo více mobilních sítích GSM, které mohou být propojeny buď přímo, nebo nepřímo prostřednictvím pevných sítí. Tyto fyzické sítě musí být spolu spojeny tak, že tvoří jednu logickou síť a poskytují konzistentní služby.

3.9.4 Funkce a aplikace

Železniční komunikační síť vyžaduje specifické aplikace, aby se zajistil bezpečný a výkonný provoz železnic. Proto je ke standardním vlastnostem GSM přidána sada vlastností a funkcí ASCI, která zajišťuje přenos hlasu a dat.

Obrázek č. 6: Vlastnosti a funkce sítě



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

Služby GSM-R standardizované v ETSI jako součást GSM Fáze 2 se společně nazývají ASCI. ASCI je tvořeno následujícími třemi službami:

- eMLPP Zdokonalená víceúrovňová přednost nebo přerušení dovoluje spojovat prioritní volání.
- VBS Skupinové oblastní volání dovoluje vysílat společnou informaci skupinám uživatelů.
- VGCS Služba skupinových volání dovoluje, aby si skupiny uživatelů vzájemně volaly.

Specifickými službami pro železnice jsou:

- Funkce adresace dovoluje, aby uživatel byl dosažitelný pomocí čísla, které identifikuje danou funkci a nikoliv fyzický terminál.
- Prezentace funkčních čísel umožňuje vizuální informaci o cíli a zdroji volání.
- Přístupová matice validuje schopnost přístupu uživatelů a skupin uživatelů.
- Adresování, závislé na poloze, zajišťuje přeměrování volání z mobilní stanice na správné řídicí místo tj. v závislosti na geografické oblasti.
- Potvrzení vysoké priority volání zajišťuje označení volání jako volání s vysokou prioritou.

3.9.5 Funkce specifické pro železnice

Služby ASCI jsou definovány ve specifikacích GSM. Fáze vydaných ETSI spolu s dalšími doplněními, byly zpracovány projektem MORANE. Zdokonalená víceúrovňová přednost volání eMLPP, umožňuje uživateli zvolit si prioritu volání buď zjevně, nebo v rámci základního nastavení funkce stanice. Tato priorita se v síti využívá, aby se zajistila přednost volání s vyšší prioritou během sestavování spojení. Volání s vysokou prioritou může i přerušit probíhající spojení s nižší prioritou v případě, že je síť obsazena. Priorita se indikuje volané stanici během vyzvánění. eMLPP musí být zajištěno pro následující druhy volání:

- Volání z bodu do bodu, tedy volání z mobilní stanice na mobilní stanici, volání z mobilní na pevnou stanici a volání z pevné stanice na mobil.
- Volání VBS/VGCS kromě toho může eMLPP podporovat spolupráci s ISDN.

Oblastní skupinové volání VBS je určeno pro hlasová spojení a zajišťuje uživateli možnost rozšířit volání do předem definovaného souboru uživatelů v předem definované geografické oblasti. Soubor uživatelů je identifikován skupinovým volacím znakem. Mobilní uživatelé budou zahrnuti do volání pouze tehdy, jestliže se nalézají ve volané rozhlasové oblasti nebo pokud jsou identifikováni jako dispečeri, mohou být umístěni kdekoliv. Informace o registraci skupinových uživatelů, dispečerů a rozhlasové oblasti je uložena v registru skupinových volání. Volání VBS může být zřízeno buď abonentem této služby nebo dispečerem, ukončení spojení může být provedeno buď

volajícím nebo jakýmkoliv autorizovaným dispečerem. Jiní uživatelé nemohou volání VBS ukončit. Hovořit může jen uživatel, který volání aktivoval, ostatní mohou jen poslouchat. Pro volajícího a pro dispečery je k dispozici standardní plně duplexní kanál, pro volané účastníky je k dispozici simplexní příchozí kanál s jedním společným příchodem do konkrétní buňky rozhlasové oblasti VBS.

Hlasové skupinové volání VGCS je určeno pro hlasová volání a byla standardizováno na základě VBS. VGCS dovoluje hlasovou konverzaci mezi předem určeným souborem cílových účastníků v předem definované geografické oblasti. Tento soubor cílových účastníků je definován skupinovým identifikačním znakem. Obecně jsou mobilní účastníci zapojeni do volání pouze tehdy, jestliže se nacházejí v dané oblasti skupinových volání. Pevní cíloví účastníci nebo mobilní účastníci označení jako dispečeri, mohou být umístěni jak v oblasti skupinových volání, tak i mimo ni. Informace o registrovaných dispečerech, cílových účastnících a oblasti skupinových volání pro skupinovou identifikaci je uložena v registru skupinových volání GCR. Volání VGCS může být vytvořeno buď účastníkem této služby nebo dispečerem. Volání může být ukončeno buď volajícím účastníkem nebo kterýmkoliv určeným dispečerem, při použití operátorem určené tónové sekvence DTMF nebo detekcí ticha na hlasovém kanálu. Při ustavování spojení je pro dispečery a pro volající účastníky zajištěn standardní plně duplexní kanál. Simplexní příchozí kanály jsou přiděleny všem cílovým účastníkům této služby s tím, že každá buňka v oblasti skupinového volání VGCS má jeden společný příchodový kanál.

Poté co bylo volání sestaveno, udržují dispečeri (jak mobilní, tak pevní) dvousměrné hlasové spojení. Mobilní účastníci, kteří aktivovali volání, mohou uvolnit svou odchozí linku, aby umožnili hovor dalším mobilním účastníkům. Po uvolnění odchozí linky může volající účastník a další mobilní uživatelé služby hovořit pouze poté, co si vyžádají odchozí linku. Pro každou skupinu je k dispozici pouze jedna odchozí linka, nezávisle na velikosti oblasti skupinového volání. Dispečeri mohou hovořit kdykoliv a jejich hlas je vyslán ke všem členům souboru účastníků. Pokud původci volání a mobilní účastníci, kteří nejsou dispečeri, vystoupí z oblasti skupinového volání, jejich spojení je zrušeno. Obnoví se, pokud se vrátí zpět do oblasti.

3.9.6 Aspekty železničního provozu

GSM-R podporuje několik specifických železničních služeb, jako je například funkční adresace. Funkční adresace je služba, která dovoluje, aby bylo volání sestaveno na základě funkce volaného, namísto MSISDN zařízení, které volající právě užívá. Každý uživatel používá službu funkčního adresování a registruje si funkční číslo mobilního zařízení, které používá při vykonávání služebního úkolu. Volající volí funkční číslo volaného, které je přeloženo na aktuální MSISDN síť. Volání, které používá funkční adresaci, může být podrobena kontrole oprávněnosti přístupu, která povoluje volání pouze mezi některými typy uživatelů funkčních čísel. Protože vlak přejíždí státní hranice a vstupuje do jiné železniční sítě, musí být funkční adresování podporováno ve všech mezidrážních sítích.

Volání mohou být podrobena prověrce maticí přístupu, založené na funkčním číslování a na typech funkčních čísel volajícího a volaného. Toto prověření omezuje propojitelnost mezi různými uživateli systému GSM-R. Prověřování je založeno na uživatelských typech volajícího a volaného, které mohou být odvozeny z jejich funkčních čísel. Logika prověřování maticí přístupu závisí na plánu funkčního adresování a je uplatňována u hovorových volání, datových volání, rozhlasových a skupinových volání. Prověřování se musí uskutečnit během sestavy volání, proto volání, která již byla sestavena, nebudou ovlivněna změnami v matici přístupu.

Adresování závislé na poloze je poskytováno pro přesměrování volání dané funkce na adresu, která je závislá na poloze uživatele. Poloha může být sítí sdělena různým způsobem. Minimální požadavek je, že poloha bude založena na buňce, ze které volání vychází. Toto řešení se nazývá buňkově specifické směřování. Pokročilejší řešení zahrnují informace o poloze, poskytovanou externími systémy pro určování polohy.

Další specifickou službou je potvrzení vysoké priority volání, používající se pro dodatečnou analýzu událostí. Na příjmové straně volání s vysokou prioritou generuje mobilní telefon potvrzovací telegram, který jde do potvrzovacího centra, připojeného k MSC, kde se ukládá pro pozdější analýzu. I když tato vlastnost není požadována pro všechny sítě GSM-R, může být považována za užitečnou pro železniční provoz.

3.9.7 Železniční aplikace

Železniční aplikace jsou definovány tak, aby podporovaly železniční funkce pro jízdu vlaků, pro strojvedoucí, výpravčí a dispečery, pro vlakový i staniční personál spolu se službami pro cestující.

3.9.7.1 Dispečerské komunikace

Dispečerská komunikace zajišťuje spojení mezi dispečery a strojvedoucími pro řízení a zvýšení bezpečnosti jízdy vlaků. Komunikace podporuje hlasová a datová spojení od dispečera k jednomu nebo ke skupině strojvedoucích nebo od jednoho strojvedoucího k více dispečerům (mohou se měnit podle polohy vlaku). Mezi uživateli jsou hlavní a pomocný vlakový dispečer, provozní dispečer, elektro dispečer a výpravčí.

3.9.7.2 Automatické řízení jízdy vlaků ATC

ATC je proces, kterým se ovlivňují některé pohyby vlaku bez zásahu strojvedoucího. Komunikace podporuje přenos dat pro vysílání telegramů o poloze vlaku z vlaku do řídicího centra a vysílání telegramů s oprávněním k jízdě z centra na vlak (určující cílovou rychlost, vzdálenost a dobu jízdy).

3.9.7.3 Dálkové řízení

Dálkové řízení podporuje obousměrný přenos dat mezi pevným centrem a vlakem nebo jiným pevným místem, umožňují ovládání palubního nebo stacionárního zařízení. Komunikace podporuje přenos dat pro dálkové řízení různých zařízení jako klimatizace, zkoušení brzd, ovládání posunových lokomotiv a pevných zařízení jako jsou výhybky nebo přejezdové zařízení.

3.9.7.4 Skupinové volání do nehodové oblasti EAB

EAB je potřebný pro vyvolání poplachu u železničního personálu v určité oblasti, kde vznikla nouzová situace. Komunikace podporuje hlasové spojení, rychlou sestavu spojení, definici oblasti stiskem jediného červeného tlačítka. Vychází od

dispečerů nebo jiných účastníků, pracovních čet na trati nebo jiného uživatele, který zjistil rizikovou situaci.

3.9.7.5 Posun

Zajišťuje rádiové spojení pro posunovou četou nebo spojení mezi více posunovými četami. Posun představuje například tlačnou posunovou lokomotivu na konci vlaku, kde strojvedoucí dostává informace od vedoucího posunu z čela vlaku. Cílem posunu je sestavit vozy do vlakové soupravy. Komunikace podporuje činnosti spojené s přípravou posunu (skupinové volání s nízkou prioritou) a při posunu (skupinové volání s vysokou prioritou a možnost nouzového volání).

3.9.7.6 Komunikace údržby tratě

Tato komunikace zajišťuje spojení údržby tratě při výlukových situacích nebo mimořádných událostech. Podporuje hlasovou komunikaci pro skupinová hovorová volání mezi pracovníky na trati a komunikaci ve větší oblasti. Do této oblasti můžeme zahrnout pracovníky na trati, vzdálené pracovníky či údržbu a dispečery. Pro všechny tyto účastníky je nezbytné, aby disponovali vysokou prioritou volání pro případ naléhavé zprávy ovlivňující provoz na trati.

3.9.7.7 Komunikace pro podporu jízdy vlaku

Tato komunikace zajišťuje spojení pro vlakový personál, aby se zvýšila provozní účinnost. Podporuje hlasové a datové spojení mezi vlakovým personálem a cestujícími včetně služeb pro zákazníky. Jedná se o rozhlas, rezervace míst a informování cestujících.

3.9.8 Network Coverage and QoS

Pokrytí, kvalita, bezpečnost a dostupnost služeb jsou kritickými faktory pro provoz železniční sítě. Pokrytí 100 % znamená zahrnutí tunelů, vnitřních prostorů stanic a rozsáhlé kolejové sítě v různém terénu. Kvalita služeb QoS musí být podle specifikací EIRENE udržena i při komunikaci s vysokorychlostním vlakem, který dosahuje

rychlosti až 500 km/h. Bitová chybovost se zvýší bez ohledu na konstantní poměr signálu a šumu, tak jako při standardní GSM síti dochází k degeneraci komunikace při rychlostech přes 140 km/h. To proto, že amplituda signálu a jeho fáze se významně mění během každého vysílaného signálového shluku. Ovlivňuje se odezva signálu, odvozená z testovací sekvence, umístěná ve středu každého signálového shluku. Důsledkem zvýšené bitové chybovosti je degradace kvality hlasu a může vést i k výpadkům v komunikaci.

Datové přenosy, které jsou především určeny pro ERTMS (Evropský unifikovaný systém řízení jízdy vlaků) a pro ETCS (Evropský unifikovaný vlakový zabezpečovač), budou přerušeny a to může způsobit nežádoucí brzdění nebo zpomalení vlaku, pokud QoS klesne pod minimální prahovou úroveň. V důsledku skutečnosti, že úspěšnost předání probíhajícího spojení závisí na přesahu pokrytí signálem na hranicích jednotlivých buněk sítě je nutno:

- Zdokonalit proceduru předání spojení na hranicích buněk.
- Zvýšit účinnost spojení.
- Zdokonalit vyprojektování sítě buněk.

Tím se zajistí vysoké QoS, potřebné pro železniční síť bez slevení požadavků na maximální efektivitu vynaložených nákladů, tj. využití minimálního počtu vysílacích míst a počtu základnových stanic pro maximální pokrytí.

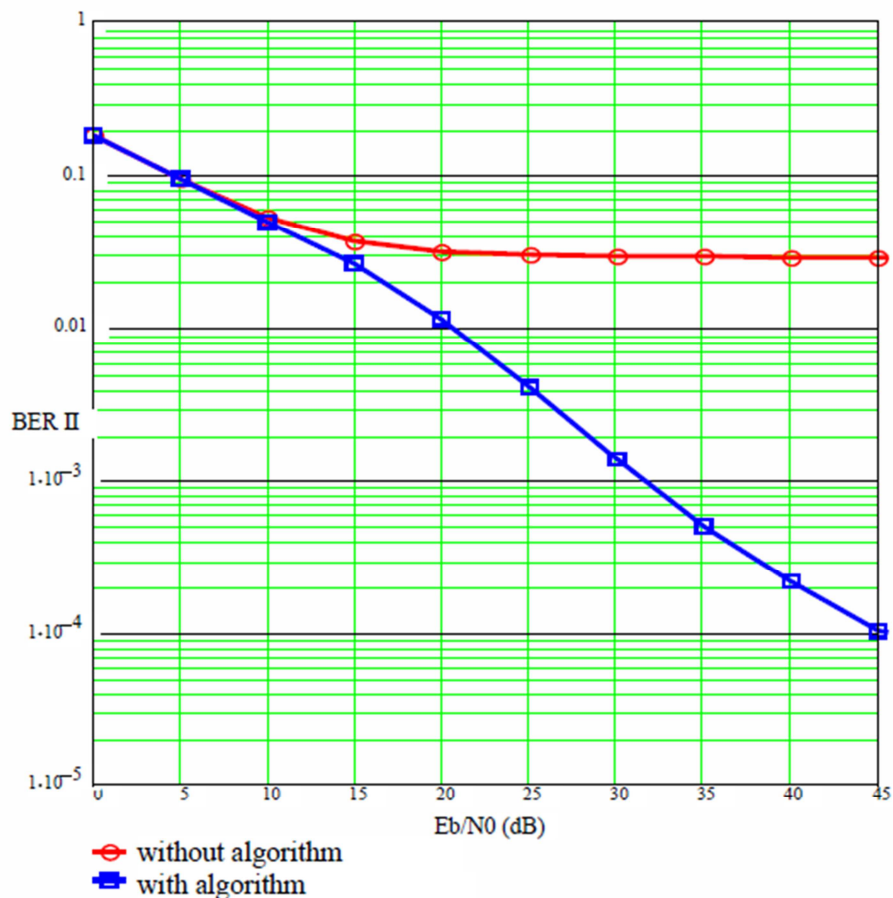
3.9.8.1 QoS

Jakost služby zahrnuje dostupnost sítě, zpoždění a pravděpodobnost sestavení spojení a přenesení spojení mezi buňkami a dodržení bitové chybovosti, což vše ovlivňuje kapacitu a pokrytí. U veřejných sítí GSM je obvykle QoS kompromisem vzhledem k nepředpokládanému obrovskému nárůstu účastníků v omezeném kmitočtovém spektru. Jak bylo již uvedeno výše, kapacitní otázky, které se mohou projevit u sítě GSM-R, jsou brány do úvahy jako kritérium při projektování a mohou být snadno vyřešeny využitím řady možností, aniž by došlo k ovlivnění QoS. Pro zajištění QoS, vyžadovaného železnicí, je ovšem nutno přistoupit ke zvláštním opatřením. Mimořádně vysoká dostupnost, malé zpoždění při sestavení spojení a přechodu z buňky do buňky a požadavek nízké BER jsou požadovány v sítích GSM-R proto, aby byl

zajištěn plynulý a bezpečný železniční provoz, zvláště pak při přenosu dat a komunikaci na VRT tratích.

Vysokorychlostní antidistorzní algoritmus je unikátní řešení od NORTEL, které bylo vyzkoušeno na VRT tratích v rámci zkoušek MORANE. Při zvyšování rychlosti vlaku je rádiová komunikace degradovaná v důsledku zvýšení BER a to bez ohledu na sílu signálu. Zkreslovací efekt je ještě výraznější na vyšších kmitočtech, například rychlost 100 km/h na 1800 MHz je ekvivalentní rychlosti 200 km/h a přenosovém kmitočtu 900 MHz. Příslušné algoritmy jsou navrženy tak, aby řešily rušivý účinek vysokých rychlostí na rádiové signály a ochránily šíření před vlivem interference. První stupeň algoritmu pracuje s podmínkou anténní diverzity a dovoluje, aby se u základnových radiostanic odstranila většina zkreslení vlivem rychlosti a to zajištěním vyššího diverzitního zisku.

Obrázek č. 7: Antidistorzní algoritmus



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

Vysokorychlostní antidistorzní algoritmus je zvláště atraktivní pro železniční síť, pokud rychlost dosahuje 500 km/h. Udržením výborné chybovosti BER bez ohledu na poměr signál – šum poskytuje použití tohoto algoritmu nejlepší QoS ve své třídě, zlepšuje výpadky ve spojení a úspěšnost předávání spojení mezi buňkami, takže se může maximalizovat vzdálenost základnových stanic BTS v síti. Jako příklad lze uvést, že na 200 km trati se ušetří až 20 % předpokládaných základnových stanic.

Algoritmus včasného přiřazení TCH je vlastnost BSS z výroby NORTEL, určená pro dosažení minimálních časů sestavení spojení. Tato vlastnost zahrnuje okamžité přidělení provozního kanálu TCH mobilní stanice jako odezvu na její přihlášení a to bez nutnosti přidělení kanálu signalizace SDCCH. Tato vlastnost poskytuje možnost rychlejšího sestavení spojení a zajišťuje zpřístupnění provozního kanálu v okamžiku, kde je ho zapotřebí. Tato vlastnost vyžaduje kompletní časové okénko pro TCH oproti nároku pouze na 1/8 časového okénka pro TSCCH při sestavování spojení, dociluje se tím významného snížení sestavovacího času nejméně o 30 %. Protože železniční provoz vyžaduje dokonalou telekomunikační podporu při nehodových událostech, umožní tato vlastnost dosažení minimalizovaného sestavovacího času okamžitě při výskytu takové události.

Ochrana proti ping-pongovému předávání spojení je opět vlastnost, vyvinutá firmou NORTEL, vyzkoušená a prověřená v sítích s mikro buňkami. Cílem této vlastnosti bylo zvýšit kvalitu hlasového a datového spojení a účinnosti přenosu pro zabezpečovací účely snížením nepotřebného předávání spojení na hranicích dvou buněk. V důsledku šíření rádiového signálu může dojít k efektu opakovaného předávání tam a zpět při přejezdu hranic buněk na trati. Protože vlak vždy jede dopředu, je tento efekt zbytečného předání zpět na předchozí buňku s nepatrně silnějším signálem velmi neefektivní, a proto je tato vlastnost u systému NORTEL velmi vhodná pro železnice. Předefinováním požadavků na kritéria předávání spojení u rádiové komunikace na vysokorychlostních tratích byl optimalizován algoritmus předávání, aby se dosáhlo minimalizace doby předávání a maximalizace QoS.

Algoritmus včasného rozhodnutí o předání spojení je jinou vlastností systému NORTEL pro zvýšení QoS snížením pravděpodobnosti, že dojde k rozpadu spojení při příjezdu vlaku na hranici pokrytí mezi dvěma buňkami. Je-li inicializováno sestavení spojení z vlaku, který se blíží k hranici buňky, ale ještě nedosáhl buňku další, může

slabý signál způsobit nedostatečnost informace pro aktivaci předání spojení do další buňky a může způsobit zhoršení jakosti spojení a v nejhorším případě i rozpad spojení. Změnou tolerancí výkonu a citlivosti spolu s rozhodovacími parametry předávání spojení z buňky na buňku se docílí inteligentního rozhodování i při nedostatečném signálu. Tento algoritmus včasného rozhodování může významně zvýšit QoS a maximalizovat vzdálenost mezi základnovými stanicemi BTS a tedy docílit ekonomickou efektivitu vynaložených nákladů.

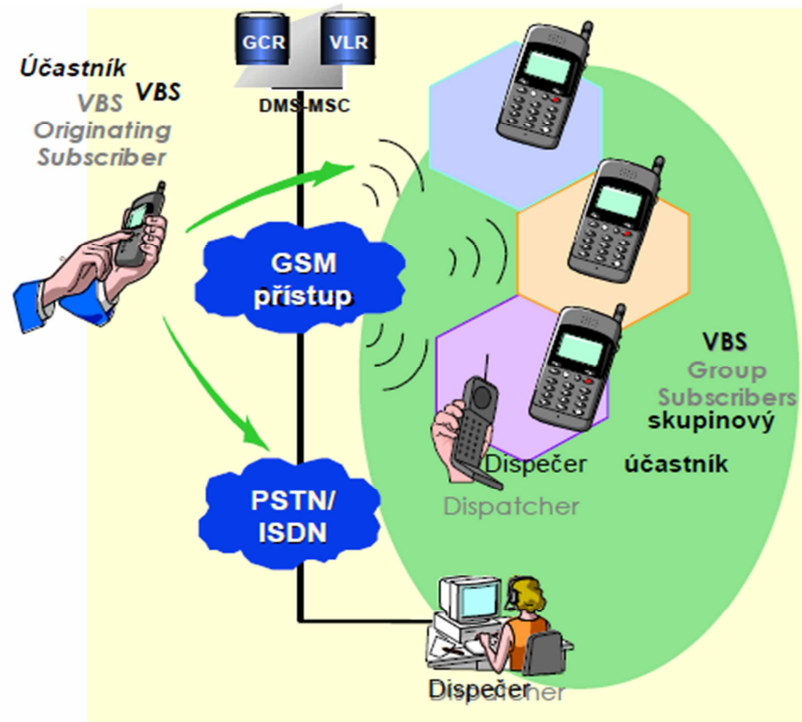
3.9.9 Datové a hlasové služby

ETSI a sdružení MORANE definovali společně specifické aplikace pro GSM-R, aby se podporovala a zlepšila účinnost železničního provozu s využitím těchto komunikací. NORTEL si včas uvědomil význam standardizace a požadavků na interoperabilitu, stal se od počátku hlavním aktérem v komisích pro standardizaci GSM-R a pokračuje v plném úsilí definování a zpřesňování těchto standardů. Řešení GSM-R podle firmy NORTEL poskytuje úplnou řadu aplikací, založených na standardních vlastnostech GSM a na NORTELEM přidaných službách včetně využití řešení inteligentních sítí. Kromě toho strategie NORTELU na integraci vlastnosti ASCI a MORANE do rozhodujícího SW balíku poskytuje možnost přirozeného vývoje sítí GSM-R tak, jako u standardního GSM, což dokladuje snahu NORTEL poskytovat řešení, které splňuje a překračuje zákazníkovi požadavky.

Všechny tři vlastnosti ASCI - VBS, VGCS a eMLPP jsou standardními požadavky pro železniční provoz, které byly do GSM nově zavedeny. Je proto velmi důležité adaptovat tyto vlastnosti pro GSM-R, aby se zajistila minimální provozní neshoda a také plynulá aplikovatelnost pro GSM-R. S ohledem na tento cíl je implementace vlastností ASCI navržena NORTELEM tak, aby se zajistila provozní jednoduchost pro uživatele a současně se zvýšila funkčnost.

Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, služba VBS dovoluje rozšíření informace, generované účastníkem nebo dispečerem na všechny nebo na skupinu účastníků v předem definované oblasti. Pro hovor a poslech je původci VBD dán k dispozici standardní duplexní kanál, pro příjemce v každé buňce oblasti skupinového volání VBS je pro poslech k dispozici simplexní kanál.

Obrázek č. 8: Skupinové volání VBS



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

Služba skupinového volání VGCS má veškerou funkčnost služby VBS, ale původce volání může předat duplexní kanál pro hovor jinému účastníkovi. Dispečerům zapojeni do skupinových volání mohou hovořit kdykoliv, ostatní účastníci musí dát signál, že si přejí hovořit. Jedna z výhod řešení firmy NORTEL u služeb VBS a VGCS zahrnuje plnou integraci registru skupinových volání GCR do DMS-MSC, což dovoluje optimální přístup při sestavování nouzových volání. Zabudované přijímače DTMF kódu pro dohled na aktivity uvnitř skupiny mohou okamžitě zrušit skupinové volání v případě, že ustal hovor, aby se optimalizovalo využití spojových možností. Řešení NORTEL rozšiřuje podporu rádiových účastníků a dovoluje propojení s personálem pro tvorbu vlaku, posunové čety, manažery dep a dispečery. Uživatelé GSM-R tak mohou dosáhnout všech výhod spojení s pohyblivými i pevnými stanicemi bez omezení oblastí volání.

Rozšířená služba priorit a předností eMLPP je založena na přidělení tříd a zdrojů pro sestavu spojení pro každou úroveň priority, což zajišťuje přednostní spojení

v nehodových situacích a pro tomu příslušné účastníky. Celkem sedm tříd přednosti dovoluje přiřazení priorit pro sestavu volání, řazení volání do front a pokračování spojení při předávání spojení mezi buňkami. Přednost zahrnuje využití přenosových cest pro volání s vyšší prioritou při obsazení spojením s nižší prioritou za situace, kdy další zdroje pro tvorbu cest nejsou k dispozici. Podle eMLPP jsou definovány tři třídy sestavování spojení:

- Třída 1: Rychlé sestavení 1 až 2 sekundy.
- Třída 2: Normální sestavení do 5 sekund.
- Třída 3: Pomalé sestavení do 10 sekund.

Zatím co vlastnosti pro řízení úrovní priorit pro různé účastníky používají již existující techniku GSM, přísné požadavky na dobu sestavování, musí být pro nehodové situace do GSM-R implementovány. NORTEL zkombinoval následující vlastnosti, aby docílil požadovanou dobu sestavení u eMLPP:

- Implementace procedur pro rychlé sestavování spojení.
- Velmi rychle přidělování kanálů.
- Pružné vypínání číslování a ověření autentičnosti.
- Optimalizace účinnosti SW jak u BSS tak u MSC.
- Plná integrace registru skupinových volání do MSC.
- Přímá propojitelnost pevných účastníků do infrastruktury MSC.

Doba sestavení do 1 až 2 sekund u účastníků třídy 1 byla ověřena na zkušebních tratích Dibmof a prezentována na výstavě Cebit 98 v Hannoveru. Kromě výše uvedených vlastností ASCI jsou dalšími službami GSM-R, speciálně vyvinutými pro podporu řízení železničního provozu, adresování odvozené od místa účastníka, funkční adresování a potvrzování prioritních volání.

Adresování závislé na poloze účastníka dovoluje směrování volání mobilních účastníků k příslušnému dispečerovi vyhodnocením skutečné polohy mobilního účastníka v daném okamžiku. Toto adresování je založeno na originální funkci, vyvinuté firmou NORTEL, která je k dispozici i u standardních výrobků NORTEL pro GSM a je celosvětově ověřená. Procedura je spouštěna krátkým kódem a volání jsou pak směrována na příslušnou buňku tak jak to definuje EIRENE A MORANE.

Je-li zapotřebí přesnější definování polohy vlaku, může být do procedury zařazen expertní systém určování polohy. Tato funkce tak dovoluje i mnohem dynamičtější utváření spojení se snadným zabudováním a jednoduchou obsluhou.

Funkční adresování dovoluje, aby účastník nebo aplikace byla dosažitelná pomocí čísla, které identifikuje příslušnou funkci a nikoliv MSISDN fyzické účastnické stanice. Funkční adresování je podstatnou vlastností GSM-R pro železniční provoz díky dynamické povaze přidělování čísla vlaku. Funkční číslo zajišťuje nezávislost čísla, známého všem účastníkům, na změnách, učiněných v prostoru a čase s fyzickým terminálem, a to tak, že svazuje funkční číslo s odpovídajícím číslováním MSISDN. MORANE zavádí dvě nové logické hodnoty do postupů GSM pro tuto implementaci funkčního adresování:

- HLR mobile (HLRm) - provádí kontrolu účastníka, kdykoliv jsou z některého účastnického terminálu aktivovány funkce přihlášení se, odhlášení se nebo dotazování. HLRm určuje polohu HLRf pro každé funkční číslo.
- HLR funkce (HLRf) - mapuje přiřazení funkčních čísel k registraci terminálu MSISDN.

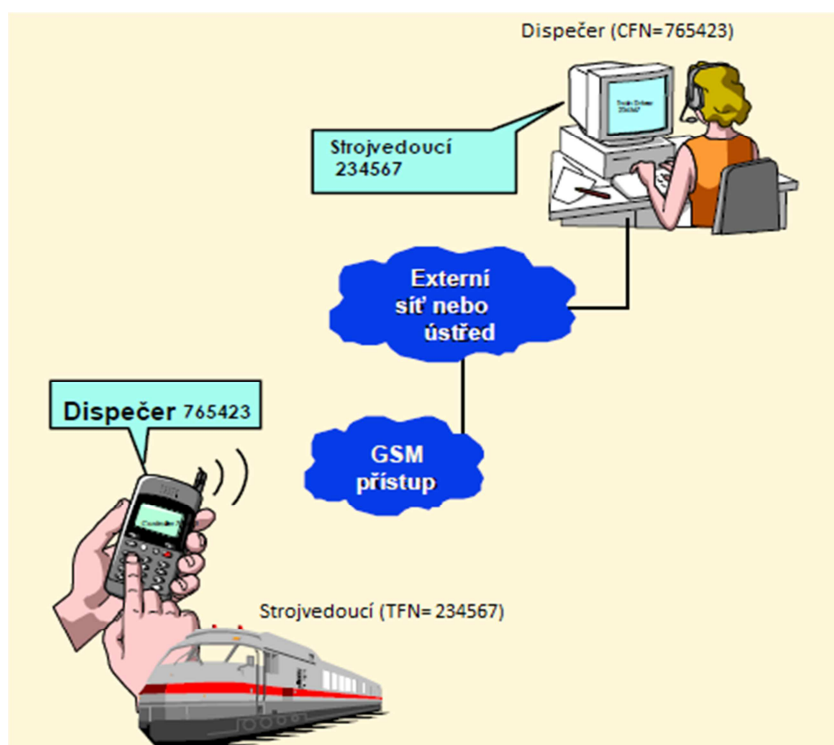
Výhodou implementace funkčního adresování v provedení firmy NORTEL je využití řešení služby Service Builder. HLRf je implementováno v souladu se specifikací MORANE v servisním řídicím bodě (SCP) a HLRm je implementováno v souladu se specifikací MORANE v HLR. Pro udržení plné interoperability s jinými sítěmi GSM-R jsou použita standardní rozhraní pro mezinárodní vlaky v souladu s ustanoveními MORANE. Překládání adres funkčního adresování je založeno na principu "následuj mne", který je standardní vlastností informačních sítí NORTEL, založené na doplňkové službě přesměrování volání. Příslušná procedura je použita, aby se získalo uložené číslo MSISDN odvozené od funkčního čísla v HLRf.

Pro realizaci služby "následuj mne" se používá mechanismus nestrukturovaných doplňkových služebních dat (USSD) tj. pro registraci, obnovování a přezkušování. SCP této služby může rovněž podporovat volání do a z pevné sítě pomocí protokolu CS1-R. Služba Service Builder může rovněž zvýraznit vlastnost funkčního adresování využitím procedur PC a DTMF při použití inteligentního terminálu. Výkonné uživatelské

prostředí dovoluje rychlé zavedení této služby, snadné osvojení uživateli a hlavně zajišťuje velmi jednoduchou údržbu.

Prezentace funkčního adresování je rovněž k dispozici jako možné rozšíření služby funkčního adresování. Prezentace funkčního adresování se zobrazuje ve formě vizuální informace, přiřazující funkční číslo volaného účastníka volajícímu účastníku a naopak.

Obrázek č. 9: Prezentace funkčního adresování



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

Flexibilita prezentace funkčních čísel uživatelům pevných linek je dosažena pomocí použití koncové doplňkové služby UUS1 (signalizace od účastníka k účastníkovi) pro spojení do kompatibilních pevných sítí. Nebo využití prezentace identifikace volajícího a identifikace připojené linky CLIP/CoLP, která je podporována v existující struktuře pevných sítí.

Potvrzení volání s vysokou prioritou je vlastnost, která zajišťuje automatické potvrzení, buď ve skupinových oblastních voláních s vysokou prioritou, nebo nouzových skupinových voláních. Potvrzovací telegram je automaticky vyslán od

mobilního účastníka, jakmile dojde k ukončení spojení. NORTEL je schopen integrovat záznamové centrum AC do MSC, kde není zapotřebí žádné dodatečné zařízení, rozhraní nebo doplňkové vývojové práce. Celkové zpracování dat je řízeno integrovaným modulem OSS (systém podpory provozu), aby se optimalizovala efektivita provozu při centrálním řízení, uživatelském GUI a s výkonnými nástroji pro provoz, administrativu řízení, údržbu a zaopatřování.

Datové služby jsou v GSM-R stejně důležité jako hlasové služby. Evropský systém řízení vlakového provozu ERTMS a evropský vlakový zabezpečovač ETCS specifikovali soubor datových aplikací pro modulární systémy řízení a zabezpečení jízdy vlaků (ATC/ATP). Přenos zabezpečovacích informací mezi vlakem a tratí je uskutečňován pomocí rádia s využitím infrastruktury GSM-R. Aplikace, jako je dálkové ovládání palubního a traťového zařízení pro řízení a zabezpečení jízdy vlaku, podpůrné komunikace s vlakem a doplňkové služby cestujícím, jsou rovněž součástí datových služeb. Různé aplikace přenosu dat, požadované pro železniční provoz a pro cestující ve vlaku, vyžadují různé přenosové postupy:

- Shlukové pro dálkové řízení, prodej jízdenek a diagnostiku.
- Trvalé komunikace pro zabezpečení jízdy vlaků a tratí.
- Vysokokapacitní s přenosem vysokou rychlostí (přenos informací pro informační služby cestujícím nebo pro potřeby údržby).

Obrázek č. 10: Požadavky na přenos dat



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

Za tím účelem poskytuje NORTEL řešení přenosu dat řadou forem jako je služba krátkých zpráv SMS, přepínání datových obvodů nebo služba GPRS (všeobecná služba rádiového přenosu paketů), takže účinně zajišťuje různé požadavky na přenos dat. NORTEL byl po dlouhou dobu vedoucí firmou v datové komunikaci s datovým prepínačem PassPort. Port GSM PassPort je založen na stejné platformě a zdědil robustnost a spolehlivost, požadovanou pro přenos dat pomocí GSM-R. Veškeré služby přepínání datových obvodů a GPRS jsou založeny na této platformě, což zajišťuje hladký vývoj aplikace a ochranu investic železnic. NORTEL byl při zkoušení ETCS/ERTMS na pilotních tratích od samého počátku a je proto v nejlepší pozici, aby komerčně využil validované zařízení ETCS/ERTMS.

Hlavním cílem provozovatelů železnic kromě udržení vysoké bezpečnosti je zvýšení efektivity provozu. Řešení firmy NORTEL - Service Builder - může přispět ve standardních aplikacích GSM-R ke zvýšení provozní účinnosti.

Špičkové postavení firmy NORTEL v oblasti informačních sítí je doloženo stoupající popularitou a rozsáhlým počtem instalací. Service Builder se stal platformou, zvolenou většinou telekomunikačních operátorů ve světě pro drátové i bezdrátové aplikace informačních sítí. S využitím desetiletého výzkumu a zkušenosti se zaváděním sítí v telekomunikacích se rozvinula třetí generace jako otevřená platforma, zahrnující aplikaci FMC (konvergence pevných a mobilních sítí) velmi levným způsobem. Service Builder je rovněž první službou, která je slučitelná se systémem CAMEL, směřujícím k plné mezinárodní interoperabilitě. Tímto řešením zajišťuje NORTEL železnicím úplný soubor připravených služeb, které jsou snadno uzpůsobitelné stávajícím službám nebo mohou být přetvořeny do zcela nových služeb a to díky výkonnému a otevřenému vývojovému prostředí.

Příklady těchto nabízených služeb jsou virtuální soukromá síť VPN nebo osobní číslovací služba PNS. VPN je široce používán ve většině velkých korporací a PNS je výkonným nástrojem, který poskytuje mobilním účastníkům plnou kontrolu nad jejich dostupností. Pokud železnice využijí VPN spolu s PNS, mohou získat přístup k široké řadě služeb jako je upravitelný plán číslování, zrychlená předvolba s využitím privilegia přístupu, informace o geografické poloze a času. Schopnost systému dynamicky tvořit propojení je přitom spojena s pružností, snadným zajištěním a jednoduchým ovládním funkce Service Builder. Služby pro cestující nepatří do standardního soupisu funkcí

GSM-R, zajišťují potenciálně nový zdroj příjmů pro provozovatele železnic. Nové služby zvýší spokojenost cestujících a zvýší jejich loajalitu k dané železnici. GSM-R může cestujícím nabídnout širokou paletu hlasových a datových služeb jako je rezervace jízdenek z paluby vlaku, zpravodajství, zábavu a přístup na internet.

3.9.10 Terminály GSM-R

Železnice používají pro provoz a služby různé typy terminálů. Různé typy těchto GSM-R terminálů musí pracovat ve speciálním železničním prostředí, kde je vyžadovaná rychlá funkčnost, odolnost v širokém rozsahu teplot, odolnost krytů proti nárazům, specifická rozhraní pro obsluhu atd. Ve spolupráci s železničními správami standardizovala MORANE parametry ručních stanic a vozidlových terminálů. Ruční přístroje jsou založeny na standardním přístroji s výkonem 2 W, který pokrývá celé kmitočtové pásmo GSM a GSM-R a zároveň podporuje funkce ASCI a EIRENE.

Základní provedení přenosné radiostanice je typu GPH pro všeobecné použití. Jedná se o standardní provedení mobilního telefonu známého z veřejných sítí GSM v modifikaci pro kmitočtové pásmo a nadstavbové funkcionality systému GSM-R. Pro provozní využití v mechanicky a klimaticky náročných podmínkách drážního provozu je určena verze v provedení OPH se zvýšenou mechanickou a klimatickou odolností a s potřebnými ergonomickými vlastnostmi. Pro režim posunu jsou pak určeny další modifikace přenosných radiostanic.

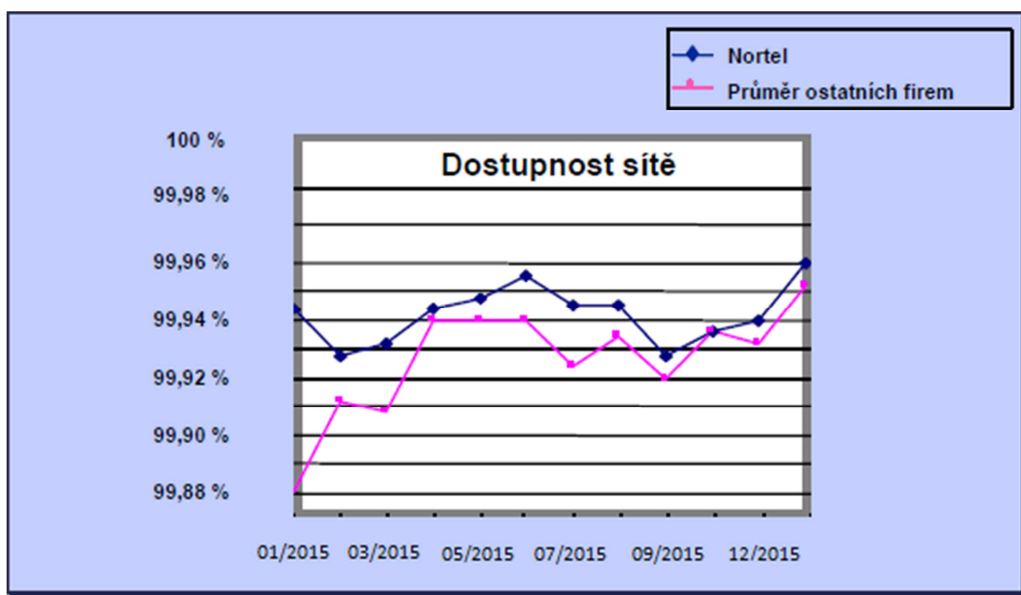
3.9.11 Dostupnost a spolehlivost systému

Vlaky jezdí nepřetržitě 24 hodin denně a provoz i údržba je nepřetržitá. Proto musí i síť GSM-R poskytnout 100 % dostupnost komunikací v celé železniční síti. Systém GSM-R od firmy NORTEL je založen na prověřeném veřejném systému GSM, kde má firma kvalitativní náskok před konkurencí. Následující graf dokumentuje dostupnost sítě BSS NORTEL, kde dostupnost je udržována průměrně nad 99,9 % včetně vlivu nedostupnosti při zásazích do systému.

Proces zlepšování produktů NORTEL zajišťuje automatické vkládání nového SW a rekonfiguraci dat s minimálními přerušeními funkce sítě. Vliv na zpracování

volání během úprav SW je pouze v řádu sekund, protože plné zálohování procesorů dovoluje přenést a obnovit data v součinnosti aktivní a neaktivní větve. Z hlediska NSS bylo prokázáno, že MSC a HLR, které jsou založeny na platformě DMS, jsou prokazatelně nejspolehlivějším přepínačem.

Obrázek č. 11: Spolehlivost systému



Zdroj: Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této práce je realizována za pomoci společnosti SUDOP Praha a.s., která se specializuje na projektovou činnost železniční dopravní infrastruktury. Společnost SUDOP Praha, ve které i sám autor působí je projektová a inženýrská společnost, specializovaná na komplexní řešení problematiky dopravní infrastruktury se zaměřením nejen na celkové technické řešení staveb, ale zejména na projekci a studii proveditelnosti sdělovací a zabezpečovací techniky.

Hlavním cílem této kapitoly je představit a zmapovat současný stav vybrané železniční trati a navrhnout bezdrátovou komunikaci s moderním zabezpečovacím zařízením, které bude vyhovovat dnešním dopravním nárokům železniční dopravy a zlepšit tak komunikaci mezi dispečerem a dopravními zaměstnanci.

4.1 Současný stav trati

Železniční trať čísla 122 Praha Smíchov – Hostivice byla vybudována v letech 1868 až 1872 společností Buštěhradská dráha. Trať byla vybudována pro nákladní dopravu, zvaná též jako Pražský Semmering pro svůj horský charakter. Celková délka trati činí 19 km, z toho je část zvaná Semmering o délce 8 km, kde trať překonává výškový rozdíl 93 m, což je v našich podmínkách mimořádné. Trať je jednokolejná s možným křížováním ve stanici Praha Jinonice, Praha Zličín a v nepoužívané výhybně Praha Žvahov. Prochází nad Hlubočepy přes Prahu Žvahov, dále stoupá kolem Radlic do stanice Praha Jinonice a pokračuje přes městské části Košíře a Motol. Ve stanici Praha Zličín dosáhne svého nejvyššího bodu a pomalu klesá přes dálniční síť ke stanici Hostivice. V současné době je trať využívána pouze k osobní dopravě. Tato trať není zabezpečena žádným traťovým zabezpečovacím zařízením a postrádá i radiové spojení mezi vozidly a dispečerským aparátem.

V současné době ve stanici Praha Smíchov severní část, probíhají stavební úpravy na sdělovacím zařízení, ale zabezpečovací zařízení zůstává stále elektromechanické, které spadá do druhé kategorie železničního zabezpečení. Stanice Praha Jinonice v současné době není obsazena výpravčím a slouží jako dopravná na trati. Stanice Praha Zličín prošla v osmdesátých letech přestavbou a byla vybavena releovým zabezpečovacím zařízením typu Test 14 s traťovým souhlasem do Hostivic.

Poslední stanice této trati Hostivice je největší a dopravně nedůležitější. Z této železniční stanice je možno pokračovat ve směru Rudná u Prahy, Kladno, Středokluky a Praha Dejvice. Stanice je vybavena elektromechanickým zabezpečovacím zařízením druhé kategorie a technologickou sítí, skládající se z přenosných radiostanic. Tato síť je určena k používání při posunu vozidel ve stanici.

V celém úseku této trati není zřízeno žádné informační zařízení, které by cestující informovalo o nejbližším spoji nebo případném zpoždění, v celém úseku tratě je nezávislá trakce s výjimkou železniční stanice Praha Smíchov, která je elektrifikována stejnosměrnou trakcí o napětí 3 kV. Nejvyšší dovolená traťová rychlost je 70 km/h, z důvodu zabezpečení a technických podmínek trati.

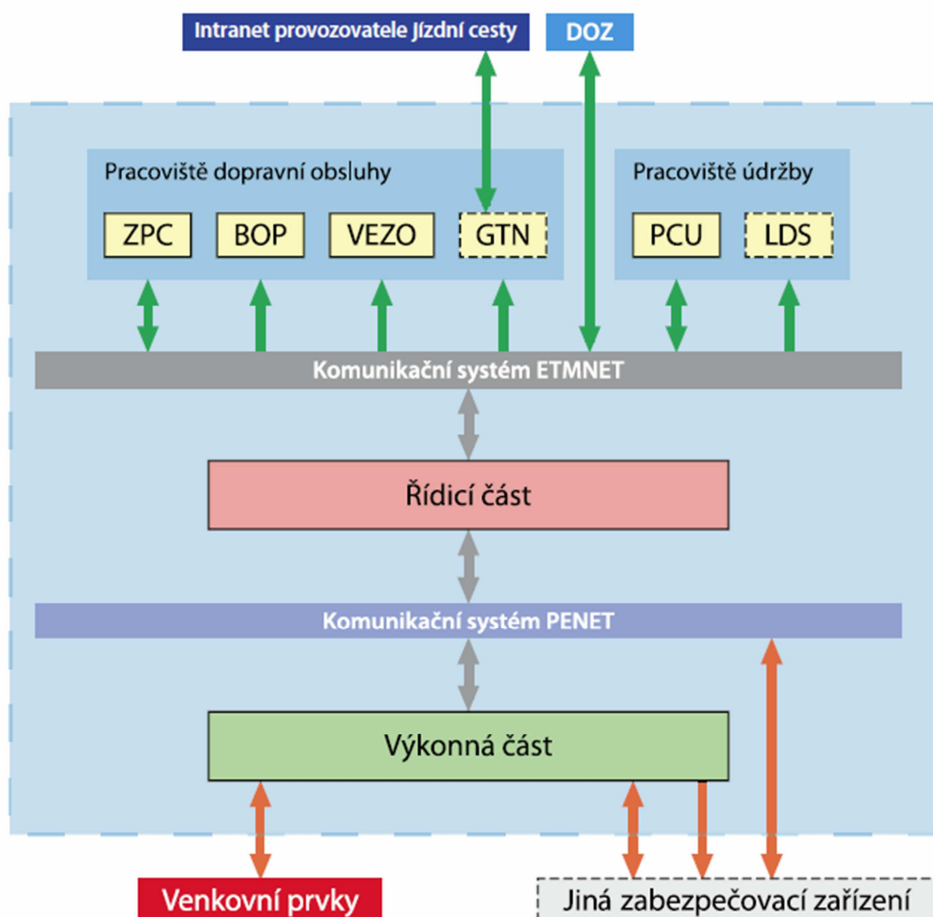
Na této trati se nachází dvanáct železničních přejezdů, které jsou zabezpečeny přejezdovým zabezpečovacím zařízením, ale některé jsou zabezpečeny pouze výstražnými kříži. V posledních letech byla řada úrovnových přejezdů vybavena novým přejezdovým zabezpečovacím zařízením, tuto investiční akci zajišťovala Správa železniční dopravní cesty, jakožto správce trati. Převážná míra odpovědnosti za bezpečnost provozu při současné úrovni zabezpečovacího zařízení trati závisí na lidském faktoru. Z důvodu chybějící traťové rádiové sítě, není možná komunikace mezi dispečery a strojvedoucími vlaku.

Před odjezdem vlaku ze stanice Praha Smíchov, pokud je trať volná výpravčí nabídne telefonicky vlak železniční stanici Praha Zličín. Pokud výpravčí ve stanici Praha Zličín vlak přijme, je vlak ze stanice Praha Smíchov vypraven. Jakmile vlak odjede ze stanice na širou trať, jeho jízda již nemůže být ovlivněna, ani nemůže být dálkově zastaven. Pro bezpečnost železničního provozu je tento způsob zabezpečení jízdy vlaku velmi nedostačující. Pro jízdu vlaku ze stanice Praha Zličín do stanice Hostivice je následná jízda vlaku zabezpečena stávajícím traťovým zabezpečovacím zařízením typu automatické hradlo, ale bez rádiového spojení. Současný stav sdělovacího a zabezpečovacího zařízení tratě snižuje propustnost a bezpečnost železničního provozu.

4.2 Navrhovaný stav trati

Pro zvýšení bezpečnosti a plynulosti železniční dopravy bylo vhodné vybavit výhybnu Praha Žvahov, stanici Praha Jinonice a Praha Zličín novým zabezpečovacím zařízením typu elektronické stavědlo. Elektronické stavědlo (zkráceně ESA) je staniční zabezpečovací zařízení, sloužící k zabezpečení a řízení provozu ve stanicích s kolejovým rozvětvením, ale i bez něj. ESA je elektronickým stavědlem s analogovým rozhraním k venkovním prvkům výstroje, což znamená, že logické funkce jsou vykonávány počítačovou jednotkou. Elektronické stavědlo disponuje elektronickými nebo reléovými spínači pro ovládání signálů k návěstním bodům, přestavníkům a kolejovým obvodům.

Obrázek č. 12: Blokové schéma elektronického stavědla



Zdroj: AŽD a.s. *Systémy pro kolejovou dopravu elektronické stavědlo typ ESA* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-10-19]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/Produkty/ESA-33.pdf>

Elektronické stavědlo typu ESA je koncipováno pro bezpečný provoz v souladu s drážními předpisy a disponuje více než 250 výhybkovými jednotkami. Implementuje funkci traťového zabezpečovacího zařízení a sledování čísel vlaků. Další důležitou funkcí, kterou umožňuje, je připojení do dálkového ovládání a případné předání ovládání do centrálního dispečerského pracoviště v Praze. Zařízení je vybaveno funkcí LDS, což je lokální diagnostický systém pro kontrolu a případné odstavení zařízení v nebezpečí. V případě nebezpečí či ohrožení bezpečnosti dopravy, je zařízení vybaveno funkcí centrálního zastavení všech vlaků, která úzce souvisí s rádiovým pokrytím GSM-R. Elektronické stavědlo disponuje graficko technologickou nadstavbou GTN, která je určena k automatickému vedení dopravního deníku.

Všechny stanice budou vybaveny vizuálním informačním zařízením, z technického hlediska jsou tvořeny několika programovatelnými zobrazovacími tabulemi, které jsou připojeny do komunikační sběrnice, ovládané řídicí jednotkou informačního systému. Hlasový informační systém je kompatibilní se zobrazovacím informačním zařízením, který je doplněn o zvukový a komunikační modul. Hlasový informační systém je navržen pro automatické hlášení příjezdů a odjezdů vlaků staničním rozhlasem, který je aktualizován s grafikonem konkrétní železniční stanice. Včasné informování cestujících skrze informační zařízení usnadňuje orientaci cestujících a napomáhá k plynulosti dopravy.

Úroňové přejezdy budou nově vybaveny přejezdovým zabezpečovacím zařízením, které umožní snadnější kontrolu nad přejezdem a umožní zvýšení traťové rychlosti. Nově vzniklé prostorové oddíly, které vzniknou mezi stanicemi Praha Smíchov, výhybnou Praha Žvahov, stanicí Praha Jinonice a stanicí Praha Zličín, umožní na této trati současnou jízdu až čtyř vlaků. Tím se výrazně zvýší propustnost této trati a umožní zkrátit případné intervaly mezi vlaky.

Výše uvedená zařízení splňují požadavky zabezpečovacího zařízení třetí kategorie dle TNŽ 34 2620, které musí být doplněno stavovou a měřicí diagnostikou. Pro zjišťování volnosti kolejových úseků s ohledem na zajištění přenosu kódu pro národní vlakový zabezpečovač se používají kolejové obvody s danou šuntovou citlivostí. V konkrétních případech malé četnosti pojíždění a z toho vyplývající pravděpodobnost ztráty šuntu, mohou být použity počítače náprav. Každé nově

zřizované zabezpečovací zařízení musí být vybaveno záložním zdrojem elektrické energie a splňovat nejnovější podmínky pro nasazení systému ERTMS/ETCS.

4.3 ETCS

Evropské železniční sítě se dlouhodobě rozvíjely v jednotlivých státech samostatně, což bylo důsledkem toho, že dnes jsou především rádiové a zabezpečovací, ale také trakční systémy používané v jednotlivých státech velmi rozdílné. Všechny tyto aspekty vedou ke komplikacím, časovým ztrátám a nutnosti vynakládat další náklady při vedení vlaků přes území více členských států. Tato situace zásadním způsobem snižuje konkurenceschopnost železnice na dopravním trhu a brání tak dalšímu rozvoji, přestože se jedná o dopravní systém s výrazně nižším negativním dopadem na životní prostředí. Na základě těchto skutečností se Členské státy Evropského společenství dohodli na společném postupu k odstranění těchto překážek, který povede v evropském železničním systému k dosažení interoperability. Interoperabilita se stala prioritou dopravní politiky Evropského společenství a pro členské státy tedy i pro Českou republiku je naplňování této priority závazné. Splnění rozhodnutí Evropské komise je dané v tomto případě formou směrnice.

V devadesátých letech minulého století iniciovala Mezinárodní železniční unie vytvoření projektu, jehož cílem byl vývoj jednotného evropského železničního zabezpečovacího systému pro jízdu vlaku. V oblasti vlakových zabezpečovacích systémů je dnes v členských státech Evropského společenství použito dvacet tři různých národních systémů vlakového zabezpečovacího zařízení. Přitom je nutné vzít na vědomí skutečnost, že prakticky nelze vybavit jedno vozidlo více než třemi národními systémy, roli zde hrají prostorové možnosti ve skříni hnacího vozidla, ale především možnosti umístění všech snímačů podle přesně definovaných podmínek na podvozkové části vozidla. Tato skutečnost jednoznačně ukazuje na složitost problému interoperability a podtrhuje důležitost zavedení systému jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS.

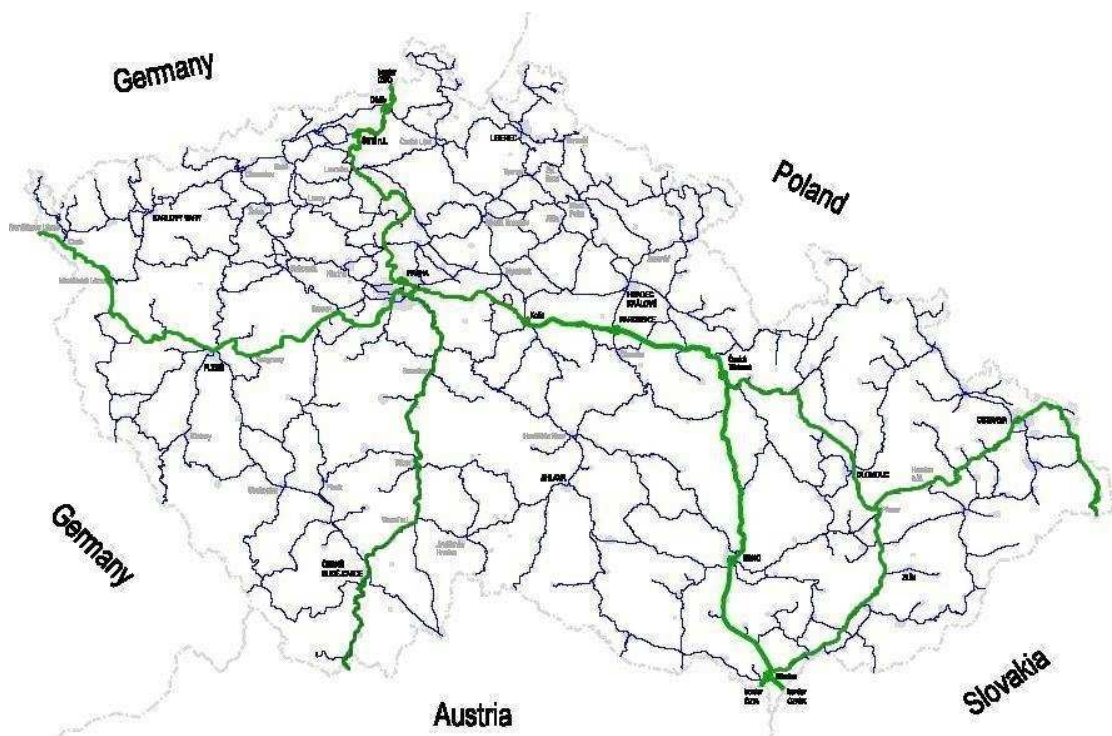
Systém ETCS je koncipovaný na bázi elektronických zabezpečovacích systémů, který vyžaduje vytvoření vazeb s existujícím systémem národního zabezpečovacího zařízení jako jsou staniční, traťová a přejezdová zařízení, ale i vytvoření vazeb palubní

částí systému ETCS k systémům hnacích vozidel, která jím mají být vybavena. Později na projekt ETCS navazuje z iniciativy UIC projekt EIRENE, který má za úkol vytvořit jednotnou evropskou železniční radiovou síť pro komunikaci, především s cílem vytvoření komunikačního prostředí pro ETCS.

4.4 ETCS a GSM-R

Hlavním cílem spousty pilotních projektů pro zavedení GSM-R byla provozní implementace systému do národních podmínek železnice v České republice. Jednotlivé komponenty systému GSM-R jsou v podstatě standardizované výrobky, jejichž interface k okolním telekomunikačním systémům jsou rovněž standardizovány. Z hlediska montáže lokomotivních radiostanic je pak třeba vzít v úvahu, že pro každou řadu hnacích vozidel se jedná o rekonstrukci hnacího vozidla se všemi nároky na její chválení. GSM-R představuje pro železnici generačně nový komunikační systém s mnoha novými provozně využitelnými funkcemi, které stávající systémy nemohly nabídnout. Dále implementuje aplikace, které zlepšují efektivitu řízení a zajištění železničního provozu. Pro prvotní zkoušení a identifikaci rizik spojených s implementací systému ETCS do podmínek železnice v České republice, byl v roce 2005 zahájen pilotní provoz na úseku Poříčany – Kolín. Jde o 22 km dlouhou dvojkolejnou trať se třemi stanicemi. Tato trať byla pokryta signálem GSM-R v kvalitě pro potřeby datového přenosu pro systém ETCS. Traťová část je tvořena jednou radioblokovou centrálou RBC, která je navázána na stávající staniční, traťová a přejezdová zařízení.

Obrázek č. 13: Plánovaná infrastruktura ETCS



Zdroj: SŽDC s.o. *Mapy železničních sítí: Pomůcky GVD* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-09-29]. Dostupné z: <http://gvd.cz/cz/data/mapy/radia.pdf>

Na výše uvedeném obrázku č. 13 jsou znázorněny tranzitní koridory, které jsou v plánu pokrýt do roku 2020 mezinárodním vlakovým zabezpečovačem ETCS. Proto je nezbytné, aby tyto tranzitní koridory byly pokryty signálem GSM-R pro datové přenosy systému ETCS. Zavedení takového systému do národních podmínek není jednoduché a je značně nákladné. Je tedy žádoucí, aby byl kladen důraz na efektivní využívání tohoto typicky liniového systému na jednotlivých úsecích transevropské železniční sítě TEN. Proto Evropská komise přijala strategii Evropských koridorů, které vytvoří prvotní jádro sítě tratí vybavených tímto systémem a tak umožní efektivnější využívání jeho přínosů.

4.4.1 Komunikace mezi ETCS a GSM-R

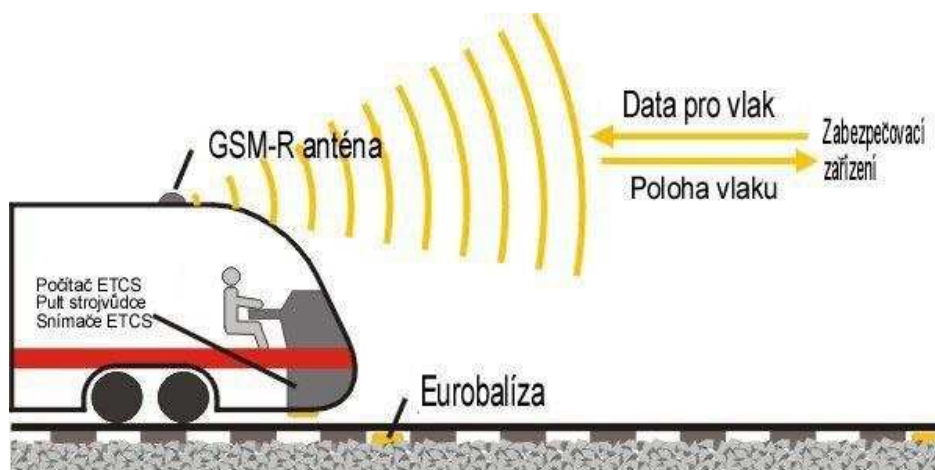
Pro správnou funkci zabezpečovacího systému ETCS je nezbytné zajistit úplné pokrytí sítí GSM-R, která používá od klasického GSM vlastní frekvenční pásmo s různým stanovením priorit. Podél železniční trati zaujímá úzký profil pokrytí z důvodu

komunikace s jednotlivými železničními subsystémy. Podle platných evropských norem je nutné realizovat přípravu na zavedení pokrytí GSM-R, při jakémkoliv obnovování či inovaci rádiového systému na železnici.

GSM-R má významný vliv při realizaci Evropského vlakového zabezpečovače z důvodu rozdělení ETCS do několika úrovní, které se vyvinuly z pilotních projektů. Nejčastějším nasazováním úrovní do provozu je ETCS L2 a ETCS L3. Při provozu ETCS L2 má strojvedoucí dostupné pro vedení vlaku stejné prvky jako dosud, ale přesnější informace v reálném čase. V úrovni ETCS L3 je provoz plně automatický za pomoci komunikační sítě GSM-R a strojvedoucí pouze dohlíží na provoz. Proto návěštní body a jiné prvky na trati se stávají nepotřebné pro provoz pod dohledem vlakového zabezpečovače ETCS.

Síť GSM-R komunikuje na různých prioritách s různými úrovněmi zabezpečení, se soustavou základnových stanic BTS, které jsou rozmístěny podél tratě, komunikují jak s vozidlovými radiostanicemi, tak i s mobilními stanicemi zaměstnanců údržby a dopravců. Nejvyšší prioritu zaujímá komunikace vlakového zabezpečovače s traťovými prvky, které každých šest sekund odesílají informace o svém stavu do dispečerského aparátu. Z tohoto důvodu mají vysílací a přijímací antény GSM-R rozdílný vyzařovací diagram od klasického GSM.

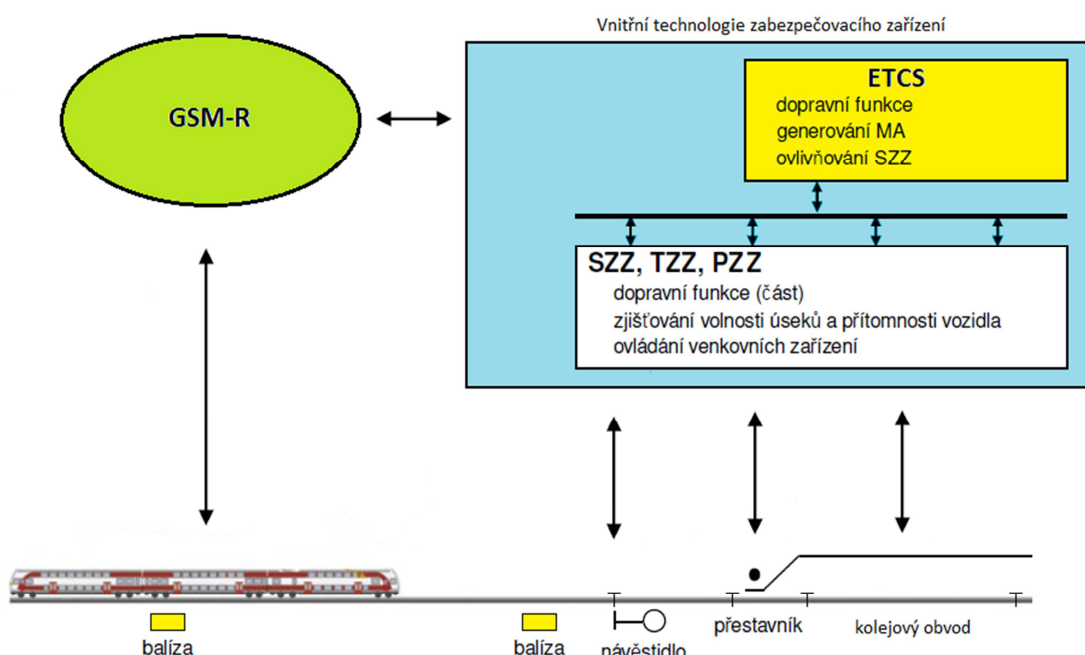
Obrázek č. 14: Provoz pod dohledem ETCS L3



Zdroj: WIKIWAND. *European Train Control System* [online]. 2015 [cit. 2017-09-18].
Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/European_Train_Control_System

Komunikační frekvenční pásma jsou stanovena v nižších frekvencích, pro vysílače mobilních radiostanic je vyhrazeno pásmo 876 až 880 MHz a pro přijímací část 921 až 925 MHz. Tato pásma byla určena na základě testovacích pilotních projektů, při kterých bylo zjištěno nejmenší rušení, což mělo rozhodující význam pro bezpečný provoz. Systém je rychlejší při navazování spojení a při předávání informací mezi buňkami než běžné GSM. Na obrázku č. 15 je znázorněna komunikace mezi vlakem a zabezpečovacím zařízením skrze GSM-R a sledování polohy pomocí prvků v kolejišti.

Obrázek č. 15: Komunikace mezi GSM-R a ETCS



Zdroj: VINTR, Josef. *Integrace přejezdových zařízení do systému ETCS L2* [online], 2009 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/20476983-Universita-pardubice-dopravni-fakulta-jana-pernera-josef-vintr.html>

4.4.2 EIRENE

Po rozhodnutí o přijetí systému GSM na železnici, zahájila UIC v roce 1992 projekt s členskými státy nazvaný EIRENE (European Integrated Radio Enhanced Network). Cílem tohoto projektu bylo specifikovat funkční a technické podmínky požadované na mobilní síť, které by splnily potřeby interoperability na železnici. Dokument obsahuje příslušné požadavky pro zavádění síťových protokolů na nové

architektury sítí, což umožňuje systém používat jako nosič pro ETCS. Důležitými cíli této organizace jsou monitorování situace se zaváděním GSM-R, zajišťování správy a aktualizace technických specifikací a garance zachování interoperability. Ve skupině ERIG vznikly další odborné útvary:

- GSM-R Operators' Group zabývající se otázkami provozování a spolupráce sítí GSM-R a harmonizací specifikace EIRENE s evropskými směnicemi o interoperabilitě.
- GSM-R Functional Group zabývající se problematikou technických specifikací, vyhodnocováním požadavků na jejich změny a standardizací nových funkcí EIRENE a jejich vývojem.
- GSM-R Industry Group sdružující výrobce technologií pro GSM-R.

Evropský telekomunikační standardizační institut se ve své pracovní skupině Railway Telecommunications zabývá otázkami železničních komunikací. Tato pracovní skupina je zodpovědná za harmonizaci drážních aplikací a standardů včetně požadavků na interoperabilitu evropské směrnice pro vysokorychlostní a konvenční tratě. V dnešní době všechny naše sousední drážní správy používají a nově nasazují na části své sítě, případně na celé své infrastrukturu systém GSM-R. Jedná se o celoevropský systém, financovaný z fondů Evropské unie, na který je možné čerpat dotace až do výše 85%. Poskytnutí dotací z Evropské unie umožnilo rychlý rozvoj systému GSM-R, a díky tomu se dnes tento systém stal jediným rádiovým drážním systémem v Evropě.

Provoz sítě GSM-R v České republice zabezpečují dvě centrální části sítě, které pracují v tzv. georedundantním režimu s vyrovnáváním zátěže. Z hlediska bezpečnosti jsou obě tyto důležité lokality navrženy tak, aby v případě výpadku jedné bylo možné zajistit úplný provoz z druhé centrální části. V plánovaných stavbách se rozšiřuje výhradně pokrytí rádiovým signálem GSM-R. Na koridorových tratích je navrhováno pokrytí dostačující pro aplikaci ETCS úrovně 2 a vyšší, na ostatních tratích je GSM-R systém navrhován pro hlasové spojení. Ke každému modernímu systému je i dálkový dohled a kontrola nad technologií. V České republice bude pro technologické objekty vyvinut řídicí a dohledový systém na bázi TCP/IP, který bude ovládat a kontrolovat několik různých technologických systémů. Tento řídicí systém bude fungovat jako zabezpečovací zařízení do technologických objektů a dále bude kontrolovat klimatizace, zdroje a bateriové náhradní zdroje.

V současné době je téměř celá telekomunikační síť sloužící potřebám drážní dopravy v majetku Správy železniční dopravní cesty. Údržba, servis a provoz sítě jsou udržovány společností České dráhy telematika, podle smlouvy uzavřené na základě veřejné soutěže. Smlouva o servisu a údržbě telekomunikační sítě SŽDC dělí vlastní síť do několika dílčích částí, vzájemně rozvrstvených kabelových, přenosových a datových sítí.

Kabelová síť je tvořena metalickými nebo optickými kabely uloženými v zemi nebo zavěšenými na stožárech trakčního vedení. Na kabelové síti je poskytována základní služba elektronických komunikací, tuto službu nazýváme kabelový okruh. Kabelový okruh z toho důvodu, protože při vytváření sítě do jednotlivých stanic a poté celých tratí vznikají okruhy pro komunikaci k řízení dopravy. Kabelový okruh je charakterizován především počtem vodičů u metalických kabelů nebo počtem optických vláken u kabelů optických.

Přenosová síť je postavena nad sítí kabelovou, kterou tvoří buď samostatné dvoubodové spoje tvořené umístěním dvou koncových přenosových zařízení nebo celá soustava přenosových zařízení na několika kabelových okruzích PDH, SDH a ATM. Mezi dvěma zařízeními na jednom kabelovém okruhu je možné vytvořit jeden nebo více přenosových okruhů. Přenosový okruh je definován jeho přenosovou kapacitou, fyzickým rozhraním a výstupním protokolem.

Datovou síť tvoří především směrovače a přepínače, které jsou připojeny buď přímo na kabelové okruhy nebo na přenosové okruhy. Datová zařízení používají pro řízení toku dat směrovací protokoly. Každé datové zařízení má přidělenou jednoznačnou IP adresu, datová síť SŽDC zvaná Intranet, používá privátní rozsah a je připojena k internetu pomocí firewallů a proxy serverů.

4.5 Návrh technického řešení

Nejdůležitějším technickým návrhem pro vybudování technologické sítě GSM-R je rozmístění BTS základnových radiostanic k zajištění dostupnosti signálu podél železniční trati pro uživatele. Při rozšiřování sítě bude nutné navýšit kapacitu centrální systémové části v dohledovém managementu pro její spravování a diagnostiku. V rámci návrhu bude nutné doplnit HW do centrální ústředny MSC k připojení základnových radiostanic BTS pro správné rozložení georedundance. Jednotlivé dopravní a uživatelské

budou doplněny uživatelskými terminály pro potřebnou komunikaci a organizaci železniční dopravy podle platných předpisů SŽDC.

Anténní stožáry stanice BTS budou rozmístěny v terénu podél železniční trati podle výsledků radiového plánování. Stožáry je nutno umístit na betonové základny pro tento účel speciálně zhotovené podle výšky stožáru. Stožáry dosahují běžné výšky od 25 do 40 metrů od základnové patky. Na základě měření a místního šetření dle pozemkových možností majitele infrastruktury bude určeno přesné umístění stožáru a objektu BTS. Do nově vzniklých technologických prostorů bude nutné zajistit připojení sítě nn a u stávajících sdělovacích prostorů bude nutná rekonstrukce. Jelikož stávající usek trati Praha Smíchov – Hostivice nemá vybudován žádný přenosový systém, bude nutné vybudovat v celé trase přenosový systém SDH v kapacitě STM 16 jako páteřní síť a pro připojení k jednotlivým BTS bude postačovat STM 1.

Nově vzniklé radiostanice BTS se připojují na spojovací systém přes řídicí modul BSC, který bude připojen přes nově vybudovanou přenosovou síť SDH. Ta se napojí do železniční kabelové sítě na centrální spojovací systém MSC, který je umístěn v Praze. Výstavba přenosové sítě musí být dokončena před připojováním jednotlivých BTS, síť bude zprovozněna jako celek až po dokončení všech technologických částí. Před uvedením zařízení do provozu musí být prověřena správnost a bezchybná činnost zařízení. Všechny tyto testy se provádějí podle zákona o drahách a jsou podrobeny technicko bezpečnostní zkoušce a následnému zkušebnímu provozu. Na základě těchto testů je vydáno kolaudační rozhodnutí a uvedení technologie do plného provozu.

4.5.1 Požadavky na přenosové systémy

Pro dálkové ovládání železniční dopravy je zařízení definováno jako nadstavba železničního zabezpečovacího zařízení, umožňujícího jeho ovládání z jiného místa prostřednictvím přenosového zařízení. Doplněním železničního zabezpečovací technologie o dálkové ovládání dalšími automatizačními prostředky vznikne oblastní řídicí systém, který klade nároky na uzavřený a bezpečný přenosový systém.

Pro uzavřený přenosový systém jsou kladeny normou různé předpoklady, aby byl považován za uzavřený systém. Znamená to, že do systému je přístup dovolen pouze po schválení a musí být znám přesný počet zařízení, která lze k uzavřenému přenosovému systému připojit. Konfigurace přenosového systému musí být vložena

jako předpoklad do důkazu bezpečnosti. Tato konfigurace se nesmí v průběhu životnosti přenosového systému měnit, stejně jako fyzikální charakter musí být během životnosti systému neměnný.

Protože je systém považován za uzavřený, nepředpokládá se jeho ohrožení neoprávněným přístupem ke čtení nebo změně informací v systémech vztahujících se k bezpečnosti. Bezpečnostní kód je orientován především na detekci poškození dat při přenosu. Zprávy vztahující se k bezpečnosti musí mít rozdílnou strukturu dosaženou použitím bezpečnostního kódu pro zprávy. Tento bezpečnostní kód musí být schopný chránit systém na požadovanou úroveň integrity, která je určena pro bezpečný přenos.

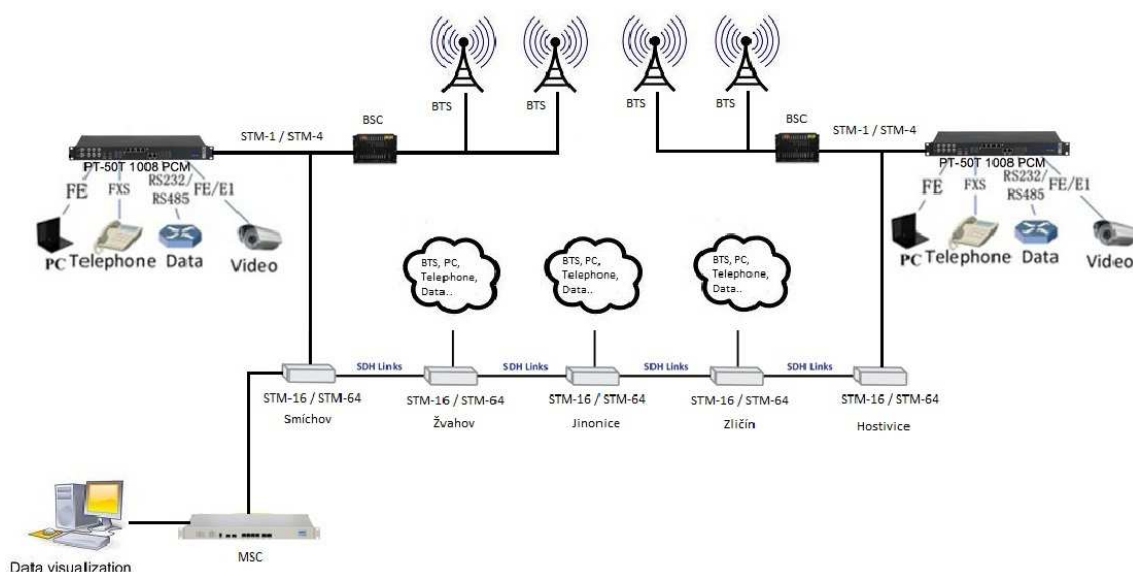
U otevřeného systému se obecně předpokládá možnost ohrožení autenticity, tedy stavu, kdy je informace platná a je známo, že pochází ze stanoveného zdroje. Jedná se především o ty uživatele, kteří nemají oprávnění přístupu k přenosovému systému od správce a nejsou známi v době projektování systému. Používaným pojmem „zpráva“ se rozumí informace přenášená mezi vysílačem a přijímačem. V přenosových systémech se však zprávy dělí na uspořádané bloky dat, jejichž struktura závisí na použitém přenosovém protokolu. Název bloku dat se liší podle přenosového protokolu (rámec, packet, datagram). Vysílač rozdělí zprávu do bloků, které přijímač opět složí do původní zprávy. Protokoly používají pro přenos tzv. virtuální kanály. Adresa odesílatele a příjemce se používá pouze v okamžiku vytváření virtuálního kanálu, další přenášené packety již adresu odesílatele a příjemce nepoužívají.

Zvláštním případem virtuálního kanálu je permanentní virtuální kanál. V tomto případě je spojení nakonfigurováno trvale a vytváří se automaticky při zapnutí zařízení. Jeho změna je možná pouze změnou konfigurace zařízení, nikoliv zadáním adresy v přenosovém protokolu. Nespojované protokoly obsahují adresu odesílatele i příjemce v každém přenášeném packetu. Pro cyklické přenosy je nutné rozlišovat mezi přenosy s časovým dělením a se statickým dělením. Pro časové dělení lze zpoždění definovat na základě přenosové rychlosti, u statického dělení je zpoždění náhodné a závislé na počtu přenosových zařízení a jejich zátěží.

4.5.2 Přenosové zařízení SDH

Pro tuto trať Praha Smíchov – Hostivice, bude vybudována optická páteřní síť s přenosovým zařízením SDH, do které bude připojen BSC modul pro GSM-R a zároveň bude připojeno technologické zařízení ve stanici Praha Jinonice, Praha Zličín a Hostivice.

Obrázek č. 16: Návrh páteřní optické sítě



Zdroj: PUČÁLKA, David. *Optická síť*. 2017. Beroun.

Páteřní optická síť bude tvořena přenosovým systémem SDH v kapacitě STM-16 s přenosovou rychlostí 2,4 Gbit/s. Pro železniční stanice s technologickým zařízením GSM-R a zabezpečovacím zařízením je dostačující připojení STM-4 s přenosovou rychlostí 622 Mbit/s. Celá technologická část sítě GSM-R je připojena do modulu MSC, kde je pod dohledem dispečera. Síť SDH umožňuje několik aplikačních možností, které zefektivňují síťovou kontrolu a snadné navázání na nové síťové topologie.

V celém úseku trati Praha Smíchov – Hostivice bude zřízena kabelová trasa s optickým kabelem. Optický kabel bude zavlečen do plastových trubek nebo kabelových žlabů do výkopu. Plastové trubky slouží jako mechanická ochrana a ukládají se do vykopané rýhy za pomoci strojních pokladačů. V případě souběhu více tras se barevně rozlišují. Spolu s optickým kabelem se ukládají prvky k usnadnění vyhledávání kabelové trasy při případném obnovování nebo zaměřování trasy.

Optický vlnovod je možné vyrábět jen v konečných délkách, proto se musí počítat s vlivem spojek na útlum. Optická vlákna lze spojovat například lepením organickou pryskyřicí, svařováním mikro hořákem nebo svařováním elektrickým obloukem a laserovým paprskem. Tyto spojky mají dodatečný útlum 0,2 až 0,3 dB. Nej kvalitnější spojení je laserovým paprskem, kdy lze dosáhnout útlum menší než 0,12 dB. V případě svařování optického vlákna musíme spoj mechanicky chránit a zpevnit, neboť holý svár je křehký a snadno poškoditelný. Pro ochranu spojek se používá teplem smrštitelná chránička. Souprava pro ochranu je složena s teplem smrštitelné trubičky, ocelové jehly a plastové tavné trubičky. Po smrštění je mechanická ochrana proti vlivům prostředí na spoj zcela obnovena a celý spoj je dostatečně zpevněn. Spojky je možné realizovat mechanicky jako rozebíratelné a nerozebíratelné spojení. Maximální hodnota útlumu pro jeden spoj je 0,2 dB.

Konstrukce optického kabelu se liší podle druhu pláště, počtem vláken a způsobu jejich uložení v kabelu. Optické vlákno s primární ochranou má průměr 0,25 mm. Nejčastěji používaným typem optického kabelu jsou gelové, jejichž vlákna jsou umístěna spolu s gelem v trubičkách a tím se zvyšuje odolnost proti okolním ořesům. V železničních sítích jsou často používány i kombinované dálkové optické kabely, které mají optickou část ve středu kabelu a vnější vrstvu kabelu tvoří metalické izolované vodiče uspořádané do křížových nízkofrekvenčních čtyřek. Tento druh kabelu má ochranou vnitřní náplň v podobě silikonové vazelíny. Z tohoto důvodu se tyto kabely ukládají výhradně do zemních kabelových tras.

4.6 Plánování rádiového systému

Při plánování radiové sítě GSM-R na základě doporučení EIRENE musí síť splňovat následující minimální hodnoty. Tyto minimální hodnoty musí splňovat pokrytí s pravděpodobností 95 %, vycházející z úrovně pokrytí (-95 dBm) pro tratě s ETCS úrovně 2 s rychlostí nižší nebo rovné 200 km/h. Tato úroveň -95 dBm byla vzata do úvahy při plánovacím procesu sítě GSM-R. Kalkulace rozvahy byla provedena pro dva typy mobilních přístrojů.

Vozidlová radiostanice:

- Výstupní výkon: 8 W
- Anténní zisk: 2 dB
- Citlivost: -104 dBm
- Ztráty v kabelech: 1 dB
- Výška antény: 4 m

Ruční mobilní přístroj:

- Výstupní výkon: 2 W
- Citlivost: -102 dBm
- Ztráta v kabelech: 0 dB
- Výška antény: 1,5 m

Základnová stanice je připojena na dvě sektorové antény, které vytvářejí jednu buňku ve „všesměrové“ konfiguraci BTS. Výsledkem jednobuňkové konfigurace při použití sektorových antén je eliminace předání spojení v blízkosti základnové stanice a zvýšení kvality služby. Další výhodou je pak i úspora kmitočtů při frekvenčním plánování. Výška anténních stožárů podél trati je v rozmezích 25 až 40 metrů. Tato výška je optimalizována při vlastním návrhu pokrytí, vzhledem k profilu trati i okolnímu prostředí, které ovlivňuje šíření radiových vln.

Všechny základnové stanice jsou pro použití ve vnitřním prostředí buď v kontejneru, nebo ve vyhrazeném místě budovy. Ve zvláštních případech, zvláště s ohledem na prostorové možnosti, je však možné použít i základnovou stanici v provedení pro venkovní prostředí.

Pro systém GSM-R se obecně doporučuje použití anténní konfigurace s prostorovou diverzitou z důvodu maximálního diverzního příjmu a nulových ztrát způsobených polarizací. Nevýhodou je však potřeba mohutnějšího anténního stožáru,

který nese čtyři antény s křížovou polarizací. Toto řešení tak vyžaduje pouze dvě antény na stožáru. Pro ztráty na kabelu byla vzata hodnota 1,6 dB odpovídající hodnotě udávané výrobcem napájecího anténního přívodu, tato hodnota odpovídá délce 30 metrů včetně dvou přívodních kabelů a konektorů. Antény mohou být mechanicky nakloněny v rozmezí 0 až 15°. Frekvenční pásmo alokované pro GSM-R je 976 MHz až 880 MHz ve směru mobilního zařízení základnové stanice a 921 MHz až 925 MHz ve směru opačném. Kanálová rozteč je 200 kHz, tudíž pro služby v pásmu GSM-R je možno použít 19 kanálů. Každý frekvenční kanál je jednoznačně identifikován svým číslem absolutní radiové frekvence.

Z důvodu omezení úrovně interferencí a dobré izolace mezi frekvenčními kanály je doporučeno dodržovat kanálový odstup minimálně 600 kHz mezi frekvencemi použitými ve stejné lokalitě a 400 kHz mezi frekvencemi sousedních lokalit. Při použití dvouvrstvé sítě s prokládanými základnovými stanicemi je rovněž doporučen kanálový odstup minimálně 600 kHz mezi sousedními lokalitami, které patří do různých vrstev. Další omezující podmínkou frekvenčního návrhu je nutnost dodržovat v blízkosti mezinárodních hranic dohodu o používání preferenčních kmitočtů pro každý jednotlivý stát.

4.6.1 Linková rozvaha

Linková rozvaha se používá k výpočtu maximální ztráty signálu korespondující se specifickou konfigurací zařízení a použitou službou. Vychází z výpočtu ztráty šířením mezi vysílačem BTS a mobilním zařízením tedy přijímačem. Jsou vypočteny dvě hodnoty ztráty šířením, jedna ve směru vzestupném a druhá ve směru sestupném. Vstupní hodnoty nutné k výpočtu jsou rozděleny do třech kategorií:

- Všeobecné parametry (závislé na parametrech BTS, výšce antény atd.), které jsou nezávislé na druhu služby.
- Parametry závislé na druhu zařízení (například typ mobilního zařízení).
- Technické rozmezí, které je závislé na druhu služby a rychlosti vlaku k dosažení požadované kvality služeb.

Výstupem linkové rozvahy jsou hodnoty EIRP (efektivní vyzářený výkon antény), minimální úroveň pole a minimální úroveň kvality služeb. Pro různé konfigurace mobilních zařízení je nutné zajistit pokrytí v souladu s definovanými typy

mobilních zařízení a službami. Hodnoty z linkové rozvahy jsou pak brány v úvahu při návrhu sítě. Při plánování buněk je užitá metoda predikce pokrytí radiovým signálem. Tato metoda bere v úvahu terénní profil, využití krajiny a vektorová data s popisem. Použitím plánovacího programu se predikované pokrytí simuluje na digitálním modelu terénu.

Vstupními hodnotami jsou parametry týkající se základnových stanic a antén. Modely šíření elektromagnetických vln jsou založeny na principech uplatňující faktory útlumu pro jednotlivá prostředí, jako je například hustota zástavby. Tyto faktory pak ovlivňují predikovaný model. Výsledkem simulace šíření radiových vln je zobrazení barevné škály odpovídající úrovním signálu v pásmu GSM-R do mapového podkladu.

Na základě těchto propočtů byla provedena kontrola vhodnosti navržených lokalit a konfigurace základnových stanic pro splnění kritérií EIRENE v celém úseku trati. Mapy s predikovanou úrovní signálu jsou pak podkladem k případné korekci konfigurace základnových stanic s cílem dosáhnout dostatečné úrovně a kvality pokrytí signálem GSM-R.

Pro každou základnovou stanicí jsou uvedeny následující údaje:

- Pozice lokality
- Konfigurace BTS
- Azimut
- Výška antény nad kolejištěm

Při plánování sítě GSM-R se nejčastěji používají dvou sektorové BTS, které jsou osazeny anténami okolo 120° v horizontální rovině pro vyzařování signálu. Vyzářený signál z panelové antény je mimo vyřazovací úhel značně utlumen a pro je možné opětovně použít na vedlejší BTS stejný frekvenční rozsah. Vyzařovací diagram signálu je ve vertikální rovině celkem úzký, proto je možné měnit úroveň signálu v daném místě naklápěním anténního panelu.

4.6.2 Legislativa rádiových sítí

Český telekomunikační úřad je zodpovědný národní regulátor za správu rádiového spektra. Podle zákona o elektronických komunikacích je český telekomunikační úřad správcem a koordinátorem využívání rádiových kmitočtů ke komerčním účelům v souladu s národními závazky, které vyplývají z členství v mezinárodních organizacích.

Správa rádiového spektra zahrnuje regulaci a plánování k zajištění optimálního využívání rádiových frekvencí bez vzájemného rušení. Pro nasazení GSM-R bylo nutné vyčlenit pásmo 880 až 960 MHz, využívané mobilními sítěmi a uplatnit princip konvergence služeb v elektronické komunikaci. Vlastníkem sítě GSM-R je Správa železniční dopravní cesty tedy stát, proto provozovatelem sítě podle zákona může být pouze právnická osoba. Provozovateli je pak vydáno individuální oprávnění k zajištění rádiové komunikace pro železniční dopravní cestu. Využívání pásma pro GSM-R je celkem neefektivní z důvodu zajištění potřebné kapacity pro spolehlivý provoz sítě, kterou je zabezpečen železniční provoz.

Pro komunikaci na tratích pod správou Železniční dopravní cesty jsou mnohdy ještě používány analogové rádiové systémy, pro které je vyhrazeno kmitočtové pásmo 150 až 460 MHz. Do těchto analogových rádiových systémů patří například systém TRS, který sice splňuje požadavky pro hlasovou komunikaci, ale nelze jej použít pro zabezpečení železniční dopravy podle UIC. Jedná se tedy do budoucna o uzavřený systém, který nelze využívat pro datový přenos zabezpečující jízdu vlaku.

Systém GSM-R s sebou přináší spoustu požadavků na provoz oproti klasickému GSM provozovaným veřejnými operátory. Jedná se především o nosič systému ETCS, který vyžaduje celkové pokrytí železniční tratě pro zajištění bezpečného a plynulého provozu bez narušení jiných rádiových komunikací. Všechny tyto požadavky jsou vymezeny v mezinárodním standardu EIRENE, do kterého je začleněna i Česká republika.

4.7 Pokrytí tratě

Při plánování počtu a umístění základnových stanic systému GSM-R se vycházelo z požadavků kritérií EIRENE na pokrytí signálem o dostatečné úrovni v celém úseku. Na základě geografických poměrů bylo za pomoci mapových podkladů a prohlídky terénu na místě vytipováno umístění základnových stanic BTS. Všechna tato místa pak byla dále modelována v programu RadioLab, pro pokrytí trati mezi těmito základnovými stanicemi, při použití různých antén a různých výšek anténního systému nad kolejištěm.

V dalším kroku plánování bylo přistoupeno k měření pokrytí signálem ze základnových stanic, které byly simulovány vysílači kontinuální frekvence v pásmu GSM-R. Ze všech těchto kroků a na základě analýzy namodelovaných dat byla provedena konečná úprava návrhu umístění základnových stanic se stanovením konečného počtu BTS, výšek anténních stožárů, typů antén a azimutu jejich vyzařování. Základnové stanice v předmětném úseku trati budou zajišťovat pokrytí železniční tratě, ale i přilehlé prostory železničních stanic a objektů signálem GSM-R. Navrhované lokality pro umístění základnových stanic BTS jsou vyjmenovány v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Navrhované lokality

Označení	Lokalita
AT01	Hostivice
AT02	Praha Zličín
AT03	Praha Cibulka
AT04	Praha Jinonice
AT05	Praha Konvářka
AT06	Praha Hlubočepy
AT07	Praha Smíchov

Zdroj: PUČÁLKA, David. *Navrhované lokality*. 2017. Beroun.

Na následujících stránkách jsou obrázky znázorňující úroveň signálu GSM-R v závislosti na vzdálenosti a směru od vysílače. Tato úroveň je vyjádřena různobarevnou škálou, jejíž orientační hodnoty jsou v následujícím obrázku. Při simulaci bylo počítáno s vstupním signálem do antény 10 W, každá anténa je pak určena pro pokrytí území v daném směru natočení.

Obrázek č. 17: Barevná stupnice úrovní signálu

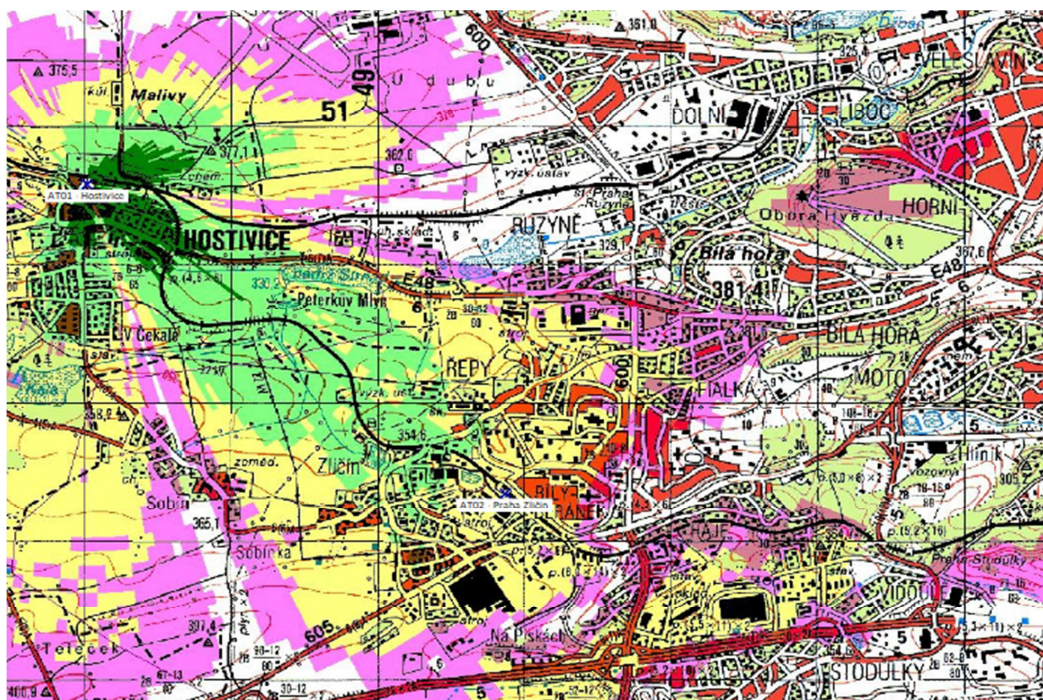
Barva	Popis
	-110 dBm až < -95 dBm
	-95 dBm až < -84 dBm
	-84 dBm až < -73 dBm
	-73 dBm až < -59 dBm
	-59 dBm a lepší

Zdroj: SUDOP a.s. *Barevná stupnice úrovní signálu*. Praha, 2017.

4.7.1 Lokalita Hostivice

Pro pokrytí železniční stanice Hostivice a přilehlého traťového úseku do Prahy Zličína bylo zvoleno umístění rádiové stanice BTS přímo do prostoru stanice Hostivice. Výška stožáru nad kolejištěm dosahuje 25 metrů s azimutem pokrytí 130°. Základní vybavení BTS podle odhadu měření bude dostačující k pokrytí signálem jak železniční stanici, tak i přilehlý traťový úsek. K umístění technologie pro základnovou stanici bude využito stávající sdělovací místnosti v nádražní budově a tedy i snadného propojení terminálu v dopravní kanceláři.

Obrázek č. 18: Simulace pokrytí stanice Hostivice



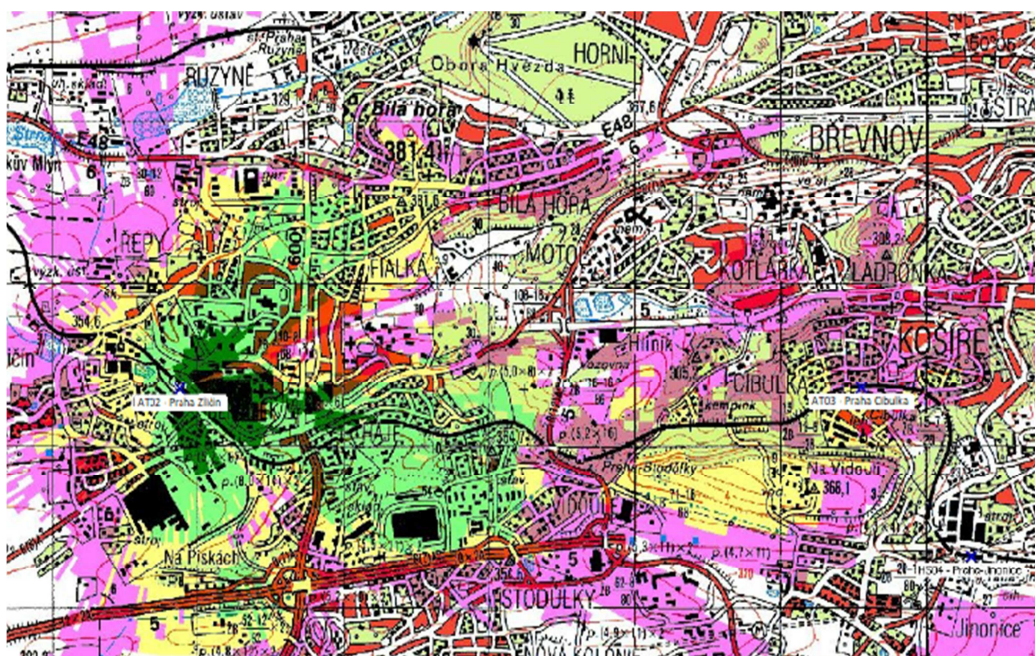
Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017.

4.7.2 Lokalita Praha Zličín

Ve stanici Praha Zličín byla umístěna základní radiostanice BTS rovněž vedle nádražní budovy s odhadnutou výškou stožáru 25 metrů. S azimutem pokrytí 105° signál GSM-R dostatečně pokryje celou železniční stanici Praha Zličín, ale i částečně traťový úsek do Prahy Jinonic. V tomto traťovém úseku trať není vedena v žádných zářezech a relativně přímo klesá k městské části Praha Cibulka. Proto je rádiová základna AT02 schopna pokrýt tento úsek bez pomocných opakovaců. Ve stanici Praha Zličín je rovněž z dřívějších dob zřízena sdělovací místnost, kterou bude po patřičných stavebních úpravách možno použít pro technologickou část BTS.

Stanice Praha Zličín je obsazena výpravčím, proto i zde bude zřízen komunikační terminál pro případnou komunikaci s vozidly či zaměstnanci v kolejišti. Napájecí koaxiální kabely pro anténní systém mezi stožárem a technologií BTS budou vedeny v chráničkách, uložených v zemi trase a zaústěny ve sdělovací místnosti v budově. K napájení systému GSM-R bude využito stávající přípojky a nově bude zřízen záložní zdroj.

Obrázek č. 19: Simulace pokrytí stanice Praha Zličín

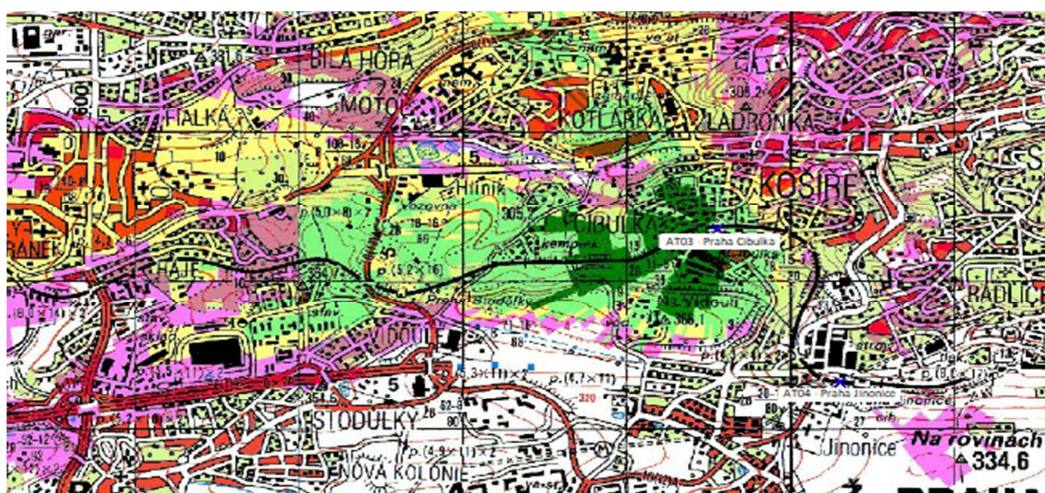


Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017

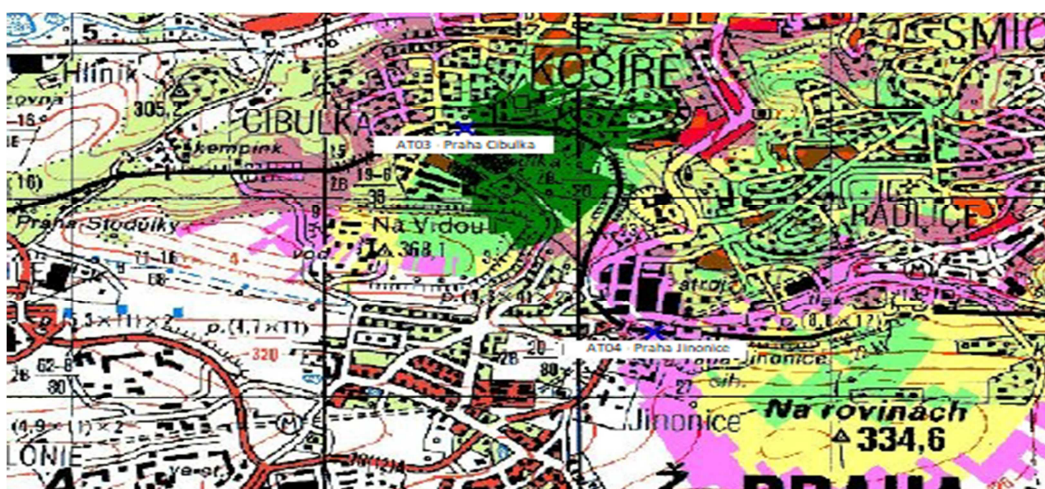
4.7.3 Lokalita Praha Cibulka

K pokrytí poslední části traťového úseku mezi stanicí Praha Zličín a Praha Jinonice bylo zapotřebí umístit rádiovou stanicí BTS do mezistaničního úseku z důvodu velkých oblouků tratě. Pro tento úsek tratě byl stožár AT03 osazen dvěma anténami, pro dostatečné pokrytí signálem GSM-R, simulace pokrytí v tomto úseku je znázorněna na obrázku 20 a 21. K tomuto umístění BTS bude zapotřebí zřídit zcela nový technologický objekt, do kterého musí být zaústěny traťové sdělovací kabely a nově zřízená přípojka elektrické sítě se záložním zdrojem. Anténní stožár bude dosahovat výšky 25 metrů a spolu s technologickým objektem bude umístěn v ochranném pásmu dráhy.

Obrázek č. 20: Simulace pokrytí Praha Cibulka směr Zličín



Obrázek č. 21: Simulace pokrytí Praha Cibulka směr Jinonice

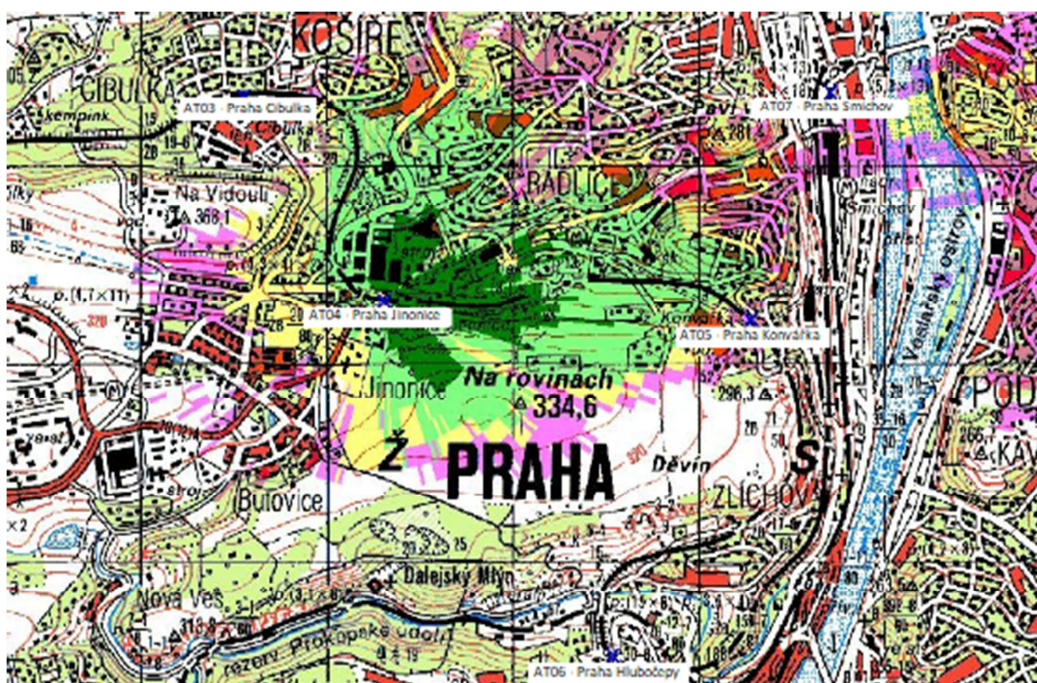


Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017.

4.7.4 Lokalita Praha Jinonice

Pro pokrytí stanice Praha Jinonice slouží BTS s označením AT04 ve výšce 20 metrů a s azimutem pokrytí 140°. Antény budou umístěny na nově vzniklém stožáru a podle provedeného měření bude pokrytí dostačující jak pro stanici Praha Jinonice, tak i částečně pro přilehlý traťový úsek. Pro umístění technologie BTS bude vybudován nový samostatný objekt. Nový anténní stožár i nový technologický objekt budou na levé straně kolejí ve směru staničení. Pro zapojení terminálu pro komunikaci po síti GSM-R bude zapotřebí vytvořit kabelovou trasu mezi technologickou částí a dopravní kanceláří ve staniční budově.

Obrázek č. 22: Simulace pokrytí stanice Praha Jinonice



Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017.

4.7.5 Lokalita Praha Konvářka

V traťovém úseku mezi stanicí Praha Jinonice a výhybnou Praha Žvahov bude zajišťovat pokrytí nově vzniklá BTS stanice pod označením AT05. Tato nově vzniklá základnová stanice bude částečně pokrývat signálem GSM-R i Smíchovské nádraží z důvodu jejího umístění přímo nad touto lokalitou. Výška nově vzniklého stožáru pro BTS bude činit 20 metrů a s azimutem pokrytí 160°. Technologická část bude umístěna v nově vzniklém objektu, který se bude nacházet u základnové stanice BTS. Nově

vzniklý technologický objekt bude nutné připojit na sdělovací traťové kabely a vybudovat přípojku elektrické sítě se záložním zdrojem.

Obrázek č. 23: Simulace pokrytí v lokalitě Praha Konvářka



Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017.

4.7.6 Lokalita Praha Hlubočepy

V této lokalitě je trať podjížděna tratí 173 (Praha Smíchov – Rudná u Prahy) a přemostňuje dvěma viadukty Hlubočepské údolí. Pro umístění základnové stanice BTS byla vytyčena poloha mezi viadukty, kde dostatečně pokryje GSM-R signálem celou trať přes Hlubočepské údolí. V tomto úseku bude možné současně pokrýt i trať 173 pro případné rozšiřování sítě směrem k Rudné u Prahy. Základnová stanice bude ve výšce 25 metrů nad kolejištěm a s azimutem pokrytí 150°. V této části tratě se nenachází žádná drážní budova ani objekt, proto technologie bude umístěna v novém samostatném objektu v bezprostřední blízkosti nového stožáru. Napájecí koaxiální kabely pro anténní systémy mezi stožárem a technologií BTS budou vedeny v chráničkách v zemní trase a budou zaústěny do nově vzniklého technologického objektu. Primární zdroj elektrického proudu je z nezálohované sítě, proto bude technologie vybavena záložním zdrojem v případě výpadku veřejné sítě.

Obrázek č. 24: Simulace pokrytí v Hlubočeském údolí



Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017.

4.7.7 Lokalita Praha Smíchov

Nádraží Praha Smíchov je rozděleno do dvou částí, jedna část je bývalé České západní dráhy, tedy dnešní Praha Smíchov osobní nádraží a druhá část je bývalé Společné nádraží pro Buštěhradskou dráhu a Pražsko-duchcovskou dráhu, odtud tedy Praha Smíchov společné nádraží. První část nádraží byla pokryta signálem GSM-R v dřívější době, ale pro pokrytí druhé části nádraží je tento stav nedostačující a proto bylo nutné přidat rádiovou stanici BTS pod označením AT07. Při umístění základnové stanice bylo zvažováno umístění na přilehlou staniční budovu, ale výška budovy byla pro pokrytí nedostačující, a proto bude nezbytné postavit nový stožár. Stožár AT07 z důvodu nežádoucích vlivů trolejového vedení bude dosahovat výšky 35 metrů nad kolejištěm. Stožár bude nutné připojit ke kolejm podle stávajících norem z důvodu ochrany před vlivy trakčního napětí. Pro technologickou část BTS vysílače bude využita stávající sdělovací místnost v budově Společného nádraží.

Výstavba základnových stanic BTS v celém uvedeném úseku by měla probíhat na pozemcích Správy železniční dopravní cesty. Obecně se jedná o pozemky, na kterých jsou již umístěny drážní stavby (budovy, koleje apod.), výstavbou základnových stanic tak nedojde ke změně užívání pozemku ani těchto objektů.

Navržené umístění základnových stanic BTS vycházelo z výpočtů pro rádiové plánování a simulovaného měření signálu. Umístění základnových stanic bylo v každé lokalitě přezkoumáno i ze stránky stavebního řešení. Rádiové plánování a výběr umístění bylo prováděno s ohledem na možnost přednostního situování BTS na pozemcích a objektech Správy železniční dopravní cesty a na možnost využití stávající železniční telekomunikační infrastruktury a napájecích zdrojů. Návrh rozmístění BTS v celém úseku je řešen tak, že dojde k úplnému pokrytí v úrovni dle standardu EIRENE pro nasazení zabezpečovacího zařízení ETCS v úrovni L2. Vybrané stožáry základnových stanic budou označeny pěti pruhy bílé a červené barvy, vrcholy stožárů budou opatřeny červeným světlem v souladu s předpisy civilního letectví.

Obrázek č. 25: Simulace pokrytí ve stanici Praha Smíchov



Zdroj: SUDOP a.s. *Simulace pokrytí*. Praha, 2017.

4.8 Měření pokrytí signálem GSM-R

Pro ověření plánování a vhodnosti lokalit pro výstavbu základnových stanic bylo provedeno měření šíření v pásmu GSM pomocí dvou testovacích vysílačů GSM-R a výsuvné plošiny pro umístění antény. Toto uspořádání simulovalo základnovou stanicí BTS. Měření bylo provedeno prakticky na místech budoucích BTS a zároveň bylo provedeno i na místech, kde podle výsledků softwarové simulace docházelo k hraničním poklesům intenzity signálu. Jako měřicí systém byl použit systém Rohde&Schwarz TS55-R2, který prostřednictvím Single Board Receiver (SBR) zaznamenává současně dvě frekvence. Měřicí systém je ovládán pomocí zařízení Triggerbox, které zajistí, že po určité vzdálenosti zaznamenává naměřenou hodnotu pro různé frekvence při šířce pásma 150 kHz.

4.8.1 Nepříznivé vlivy na rádiový přenos

Nepříznivé vlivy vznikají ve spojitosti s proudovými jevy způsobenými jiskřením elektrické trakce. Všechna elektrická zařízení, u nichž k tomuto dochází, ať již v důsledku jejich nesprávné funkce, nebo v důsledku poruchy, způsobují vznik nežádoucích vysokofrekvenčních tlumených kmitů v širokém frekvenčním rozsahu. Rušivými zdroji v železničním provozu jsou zpravidla pevná a pohyblivá trakční zařízení, představovaná vysokonapěťovou trakční soustavou a elektrickými hnacími vozidly. Eliminace vzniku rušivé energie je s ohledem na zcela specifické podmínky železničního provozu značně obtížná. Nejjednodušším řešením pro zamezení dalšího šíření vyzařované energie do prostoru je elektrické stínění a dokonalé uzemňování jednotlivých částí rušivého zdroje.

Další nepříznivou podmínkou pro provoz rádiových sítí s pohyblivými radiostanicemi v železniční dopravě je malá výška jejich antén. Vlivem umístění antén vzniká silný vliv odrazů elektromagnetických vln od země i od okolních předmětů a objektů na okamžitou hodnotu přijímaného signálu. Vozidlová anténa se pohybuje v interferenčním elektromagnetickém poli, jehož nežádoucí důsledky se projevují zejména ve větší vzdálenosti od vysílače. Při vyšších rychlostech hnacího vozidla v interferenčním poli dochází ke vzniku nízkofrekvenčního rušení závislého na rychlosti

jeho jízdy. Důsledkem může být krátkodobé zvýšení úrovně šumu, které se při fonickém přenosu projeví krátkodobým nesrozumitelným spojením mezi účastníky.

4.8.2 Antény pro BTS

Základnové stanice BTS zprostředkovávají skrze rádiové rozhraní spojení mezi mobilními stanicemi a tvoří společně s řídicí základnovou jednotkou BSC subsystém základnových stanic. Tyto stanice BTS jsou umísťovány na budovy a komíny, kdežto v železničních sítích se umísťují podél železničních tratí na nově vzniklé stožáry. Nejčastěji používaným druhem směrové antény pro GSM-R je panelová anténa, představující soustavu dipólů před zářičem, umísťující se obvykle do svislé polohy. Různé rozmístění dipólů před zářičem má vliv na polarizaci a směrovou charakteristiku antény.

Směrová charakteristika je velmi důležitá při plánování pokrytí. Graficky je směrová charakteristika vyjádřena jako úhlová šířka v místě, kde úroveň signálu klesne o 3 dB. U GSM-R antén se tato šířka obvykle pohybuje v rozmezích 70° až 180°. Antény lze podle směrové charakteristiky rozdělit do dvou skupin. Na všesměrové, které mají směrovou charakteristiku ve tvaru kružnice a směrové, které mají naopak charakteristiku soustřeďující se pouze jedním směrem. Tento druh směrové antény se nejčastěji používá pro pokrytí tratí v železniční dopravě.

Pro pokrytí tratě Praha Smíchov – Hostivice signálem GSM-R byly požadované parametry antén stanoveny na základně výpočtů a měření provedených v rámci rádiového plánování sítě. Anténní systémy vyrábí například firmy Ericsson a Nokia, ale také německá firma Kathrein, která běžně dodává antény pro železniční dopravu. Antény Kathrein splňují požadovaná kritéria a jsou v současné době instalovány na tratích, kde je GSM-R síť v provozu.

Parametry antény Kathrein 800 10302:

Frekvence: 806 - 960 MHz

Výkon: 500 W

Impedance: 50 Ohm

Zisk antény: 2x20 dBi

Rozměry antény: 2254 mm x 527 mm x 99 mm

Váha antény: 30 kg

Pro upevnění antény bude standardně vybudován nový železobetonový stožár o kruhovém průřezu a požadované výšce podle lokality. Stožár musí splňovat požadavky tuhosti konstrukce na maximální výchylku 1° od osy, kvůli ovlivňování směrového diagramu nepříznivými povětrnostními podmínkami. Součástí stožáru je i výstroj, která musí být chráněna proti cizím zásahům zábranou. Všechny vnější kovové části stožáru a jeho výstroje musí být opatřeny protikorozní ochranou a v případě požadavku ze strany oprávněných organizací a úřadů musí stožár umožnit barevný nátěr. Při výstavbě základnových stanic BTS je nutné vytvořit systém uzemnění, který zajistí správnou funkci zařízení a vytvoří ochranu proti atmosférickému přepětí. Veškeré zařízení je nutné situovat mimo prostor ohrožený trakčním vedením ve vzdálenosti minimálně 5 metrů od osy trakčního vedení nebo stožáru.

Obrázek č. 26: Umístění BTS stanice podél trati



Zdroj: TEPLOTECHNA OSTRAVA a.s. *Betonový stožáry pro GSM-R* [online]

Dostupné z: http://www.tto.cz/vyskove_stavby_lehke_stozary.html

4.8.3 Vozidlová radiostanice

Drážní komunikační systém plní funkci komunikačního prostředku s vazbou na zabezpečovací prostředky vlaku a řízení provozu vlakové dopravy. V případě potřeby přenosu dat použité zabezpečovací techniky, musí nabízet radiostanice rozhraní pro přenos těchto dat v závislosti na aplikační úrovni řešení zabezpečovacího zařízení. Drážní komunikační systém využívá pro svůj provoz výhradně síť GSM-R a v případě potřeby nouzových volání síť veřejného operátora. Rychlost navázání spojení vychází ze standardu technologie použité v GSM, proto vytvoření spojení může být pomalejší než u drážních sítí.

Vozidlová část radiostanice musí umožňovat svou koncepcí plynulý přechod od dříve používaných analogových systémů v pásmu 150 až 460 MHz až po dnešní digitální síť. Mobilní radiostanice zprostředkovává nejenom telefonní komunikaci, ale i možnost zaměstnancům řídícím provoz vlakové dopravy předávat vlaku elektronickou cestou datové zprávy a informace jako „Rozkaz k jízdě“ nebo jiný písemný pokyn. Tyto datové přenosy jsou pro přenos kódovány a přijetí zprávy je potvrzováno na několika úrovních dle důležitosti.

Ovládání mobilní části je realizováno prostřednictvím univerzální ovládací skříňky ve vozidle. Ovládání základnové soupravy se uskutečňuje prostřednictvím dotykového panelu a kromě výše uvedených funkcí umožňuje dálkové zastavení konkrétního vlaku nebo všech vlaků na trati. Integrovaná zabezpečovací technologie do radiové stanice zajišťuje monitoring pohybu vlaku na trati, kdy na monitoru výpravčího nebo dispečera je zobrazena poloha vlaku. Systém automaticky dle čísla vlaku poskytuje výpravčímu nebo dispečerovi informace o daném vlakovém spoji z grafikonu vlakové cesty. Vozidlová radiostanice musí být tedy kompaktní zařízení stavebnicového typu zahrnující všechny uvedené subsystémy. Její kompaktnost je nutná z hlediska interoperability v souvislosti s oběhem hnacího vozidla při přechodu mezi různými základnovými radiokomunikačními systémy na tratích České republiky.

Rekonstrukce ucelených úseků tratí nebo jejich novostavbách s sebou musí vždy nést implementaci ERTMS. U vozidel je při modernizaci nebo výrobě povinná alespoň příprava rozhraní pro budoucí instalaci ERTMS. Proto vozidla určená pro provoz na trati 122 Praha Smíchov – Hostivice budou muset být vybavena alespoň modulem

pro bezdrátovou komunikaci po síti GSM-R. Pro běžnou komunikaci postačuje vozidlová radiostanice typu QD 008 195 od firmy T-CZ, která je autorizovaná dodávat telekomunikační zařízení pro železniční dopravu.

Vozidlovou radiostanici je nutné umístit ve vozidle na ovládací pult strojvedoucího pro snadnou dostupnost obsluhy bez narušení bezpečnosti jízdy vozidla. Samotná technologická část radiostanice je umístěna ve strojové části vozidla v bezpečnostním krytu. K propojení anténní části, která je umístěna na střeše vozidla, je použit stíněný vodič, který je výhradně dodáván spolu s radiostanicí kvůli jeho parametrům na přenos signálu. Ovládání radiostanice je pro obsluhu intuitivní a přehledné, což je nezbytné při manipulaci za jízdy. Radiostanice je kompatibilní se všemi drážními radiovými systémy, které jsou na naší železniční síti nasazeny.

Při uvádění do provozu musí strojvedoucí zadat svou specifickou identitu a radiostanice automaticky provede rozpoznání sítě, pod kterou se nachází a provede přihlášení do sítě. Strojvedoucí může komunikovat v několika režimech, jak hlasitým reproduktorem, tak i přes sluchátko. Na displeji se zobrazují krátké zprávy s informačním charakterem pro strojvedoucího, všechny doplňkové funkce jsou podřízeny nouzovému volání v nebezpečí nebo centrálnímu zastavení vozidla. Radiostanice je vybavena záznamovým zařízením pro případnou zpětnou kontrolu v případě nehodové události a snadnému zjištění provozních stavů. V případě potřeby je možná skupinová konverzace mezi vozidly, ale vždy je podmíněna vstupem dispečera nebo voláním vyšší priority. Při automatické volbě výpravčího se uskutečňuje spojení s nejbližší dopravní kanceláří v traťovém úseku.

Ve vozidle jsou obvykle namontovány dvě ovládací skříňky pro každé stanoviště zvlášť, dotykový displej je vybaven senzorem pro stmívání svítivosti displeje, kvůli rušivému elementu při noční jízdě. Radiostanice se nastavují dle dispozic tratí a podmínek provozu s provázáním na systém nouzového zastavení vozidla prostřednictvím vlakového zabezpečovače. Systém radiostanic je koncipován jako otevřený systém s možností upgradu zařízení na vyšší integrační úroveň především v oblasti začlenění do informačních technologií drážní dopravy.

4.8.4 Místní radiostanice

Pro komunikaci výpravčích a dispečerů s vozidly jsou určeny místní radiostanice tedy dispečerské konzole. U těchto dispečerských konzolí je nezbytné, aby umožňovaly kompatibilitu s různými radiovými sítěmi v železničním provozu a to jak s analogovými, tak i digitálními sítěmi. V případě trati 122 Praha Smíchov – Hostivice bude ve všech stanicích nainstalována dispečerská konzole Konos-Dot od firmy TTC Marconi. Tuto dispečerskou konzoli je možné používat jako samostatný terminál pro komunikaci výpravčích nebo jako integrovaný dispečerský dohled nad radiovou sítí.

Prostřednictvím dotykového monitoru je ovládáno intuitivní grafické rozhraní a jiné uživatelské nástroje, které jsou nezbytné pro radiový provoz. Konzole je řešena modulární architekturou, pomocí které je možné funkcionalitu přizpůsobit různým normám. Komunikace s ostatními síťovými zařízeními probíhá po Ethernetovém standardu, pro poskytnutí kvalitního přenosu hlasu a datových informací. Dispečerskou konzoli je možné v případě potřeby propojit s IP ústřednou nebo s běžnou pobočkovou ústřednou. Pro snadnou a rychlou volbu důležitých okruhů je možné nakonfigurovat prostředí tlačítek a různou akustickou signalizaci. Všechny komunikace či datové zprávy jsou zaznamenávány v centrálním databázovém serveru.

Obrázek č. 27: Dispečerská konzole Konos-Dot



Zdroj: TTC MARCONI, *Produktová řada KONOS* [online]. [cit. 2017-10-11].

Dostupné z: http://www.ttc.cz/konos/index_soubory/Page378.htm

4.8.5 Mobilní radiostanice

Pro potřebnou komunikaci zaměstnanců posunových čet či údržby na trati jsou používány mobilní radiostanice, které mají podobu standardního tlačítkového mobilního telefonu. Tato mobilní zařízení jsou výjimečná především tím, že používají pro komunikaci síť GSM-R. Zařízení zároveň vykazuje vysokou odolnost ve specifickém železničním prostředí, kde je vyžadovaná rychlá funkčnost, odolnost v širokém rozsahu teplot a odolnost proti nárazům. Takovýmto zařízením je mobilní telefon OPH-810R od firmy SED, který splňuje všechny podmínky pro provoz v SŽDC. Zařízení splňuje všechny formy komunikace mezi zaměstnanci, hnacími vozidly a dispečery. Pro provoz v síti GSM-R je mobilní telefon vybaven specializovanou SIM kartou, která zajišťuje specifické funkce, jako jsou sestavování železničních hovorů, vytváření a správa skupinových hovorů. Mobilní telefon je založen na standardním přístroji s anténním výkonem 2 W, který pokrývá celé kmitočtové pásmo GSM s podporou funkce ASCI. Volba účastníků je zajišťována stejně jako u veřejného operátora pomocí devítimístného čísla nebo sestavením tzv. funkčního čísla. Funkční číslo se skládá z CT, UIN a FC. CT (Call type) nese informaci o typu volání, UIN (User Identifier Number) označuje číslo vlaku či vozidla a FC (Function Code) je funkční identifikační kód účastníka. Před každým nasazením zařízení do provozu, se provede uživatelem funkční zkouška. Při správné činnosti zařízení se zobrazuje název sítě. V případě trati 122 Praha Smíchov – Hostivice se zobrazí „SZDC GSM-R CZ“.

Obrázek č. 28: Mobilní zařízení OPH-810R



Zdroj: SED. *Railway communication: OPH 810R* [online]. [cit. 2017-10-16].

Dostupné z: <http://www.traintalk.com/products/gsm-r/oph-810r>

5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ

Základním požadavkem Evropského společenství je zajistit volný pohyb osob, zboží a kapitálu. Aby bylo tohoto cíle dosaženo, musíme disponovat flexibilními dopravními systémy, schopnými implementovat se na celém území Evropského společenství bez technických překážek na hranicích členských států. Proto i telekomunikační železniční sítě jsou souborem technických prostředků k volnému a bezpečnému pohybu vlaků po mezinárodních železničních sítích. V následujících kapitolách budou představeny ekonomické aspekty nasazování technologie GSM-R v železničních sítích.

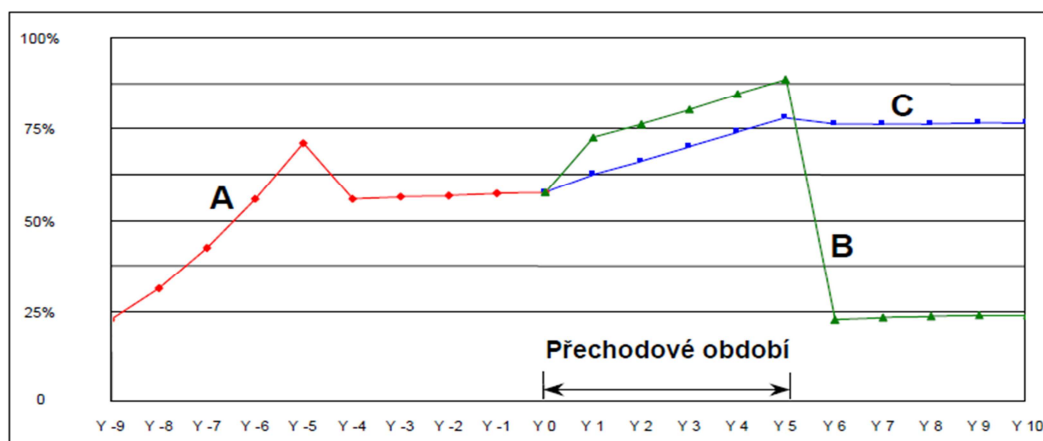
5.1 Ekonomické a implementační aspekty GSM-R

Implementace GSM-R do železniční sítě nabízí digitální komunikaci na integrované platformě, jakou dosud analogové sítě nemohly poskytnout. Dalším vysoce účinným aspektem pro tuto digitální komunikaci je přenos dat, který dovoluje přímou komunikaci ze stávající pevné sítě do mobilní sítě pro všechny kategorie železničních informačních aplikací. Tím jsou tedy možné okamžité přístupy k informačním systémům spolu s možností nosiče přenosu dat pro ETCS. Kromě zlepšení funkčnosti informačního systému a realizace nových možností je hlavním motivem k zavádění GSM-R úspora nákladů. Převážně se jedná o provozní náklady plynoucí z důsledku unifikace platformy, snížení investic využitím sériově dodávaných systémů a zvýšení účinnosti využívání rádiového spektra.

Přechod z analogového provozu na systém GSM-R zahrnuje mnoho faktorů. Protože železniční provoz musí probíhat bez přerušení spojení, je nezbytné existující analogové systémy udržovat v provozu až do úplné implementace systému GSM-R. Při konverzi stávajících sítí na nové sítě se může zdát, že rozšíření stávajícího systému aby vyhověl pro další provoz, může být úspornější. Pro vyvrácení tohoto tvrzení je nezbytné porovnat cenové faktory investic, odpisy (jak infrastruktury, tak zařízení) a provozní náklady (na údržbu, či pronájem linek). Při porovnání a zohlednění, že GSM-R vychází z veřejných systémů GSM, je dlouhodobě výhodnější investovat do nového zařízení s bezproblémovou kompatibilitou a ověřeným provozem. Pro přechod z analogových sítí na sítě GSM-R jsou možné dva způsoby. První způsob přechodu je nevýhodný

v důsledku dlouhé doby, po kterou musí obě sítě pracovat současně. Toto opatření sice neomezuje provoz, ale projevuje se zvýšením provozních a udržovacích nákladů s případnými investicemi do provizorních terminálů. Tento způsob se nejvíce uplatňoval při zaváděcích a zkušebních provozech v pilotních programech, kde GSM-R síť nebyla stále v provozu. Druhý způsob je úplná implementace sítě GSM-R, kde se období přechodu významně zkracuje. V důsledku toho jsou i značně minimalizovány náklady na souběžný provoz a není nutno investovat do přechodného řešení. Tento způsob je nejvíce používán i s ohledem na to, že dochází ke značnému omezení provozu. Následující obrázek ukazuje typické posouzení nákladů od firmy Nortel pro síť v rozsahu 100 km. Analogová síť byla instalována v letech -9 až -5 mezi -5 a 0 jsou pouze udržovací práce na udržení sítě v provozu. Rok 0 představuje okamžik zahájení implementace sítě GSM-R. Období pro přechod ze sítě analogové na GSM-R je plánováno v délce 5 let. V letech 0 až 10 jsou znázorněny dvě křivky. Křivka C (modré barvy) představuje stávající a rozšířenou analogovou síť, ukazující v přechodovém období stoupající náklady, které jsou dány investicemi do přídavných a rekonstruovaných zařízení. V letech 5 až 10 se náklady ustálí z důvodu stálých vysokých udržovacích investic do rozšířené sítě. Křivka B (zelené barvy) znázorňuje úplnou implementaci nové sítě, v přechodovém období jsou náklady vyšší z důvodu investic do nového zařízení bez použití racionalizace zařízení z minulých let. V letech 5 až 10 křivka strmě klesne a ustálí se na mnohem menších nákladech, než u křivky C. Je to způsobeno ukončením investic do nového zařízení a zároveň relativně nízkými udržovacími náklady.

Obrázek č. 29: Investiční a provozní náklady



Zdroj: KAPSCH s.r.o. Nortel Networks. *Implementace GSM-R*, 2011.

Pro pokrytí tratě 122 Praha Smíchov – Hostivice byla zvolena varianta úplné implementace nové sítě GSM-R. Je to dáno i tím, jak už bylo výše řečeno, že tato trať nedisponuje žádným traťovým rádiovým spojením ani traťovým zabezpečením, které by splňovalo zabezpečení 3 kategorie. Z důvodu nemožnosti získat konkrétní náklady vynaložené Správou železniční dopravní cesty na údržbu a provoz této trati, použil autor investiční rozbor zpracovaný firmou Nortel, která se spolu s firmou Kapsch zabývá implementováním sítě GSM-R v podmínkách železniční dopravy v České republice. Rozdílnost v samostatné údržbě těchto sítí plyne ze skutečnosti, že analogové rádiové sítě disponují větším počtem stacionárních zařízení, která vyžadují neustálé servisní zásahy a zároveň nemožnost provádět tyto úkony z dispečerského centra. Nové sítě GSM-R mají oproti analogovým sítím tu výhodu, že pokud se nejedná o technickou závadu, je možné diagnostický servis a nastavení provádět ze stanoviště dispečera, což výrazně snižuje náklady na údržbu sítě.

Trať, kterou se autor v této práci zabývá, sice nepatří mezi žádné mezinárodní koridory ani hlavní tratě, ale je nanejvýš vhodné, s ohledem na začlenění provozu do Pražské integrované dopravy tuto trať rekonstruovat z důvodu zvýšení propustnosti a bezpečnosti tratě. S výhledem do budoucna je možné, že se tato trať stane součástí rychlodráhy, která bude spojovat letiště Václava Havla a centrum Prahy. Zároveň plní odklonovou trasu pro vlaky ze směru od Kladna, v případě rekonstrukce tratě Praha Dejvice – Praha Masarykovo nádraží. V neposlední řadě rekonstrukce tratě může přilákat konkurenci ze strany soukromých dopravců, kde výhoda pro cestujícího plyne z cenové války dopravců a nabízených služeb. V současné době je trať obsluhována národním dopravcem České dráhy.

5.2 Hodnocení a očekávaný vývoj

Při samotném rádiovém plánování trati a zohlednění požadavků na implementaci sítě GSM-R můžeme vyvodit, že nejvhodnější je zavádět GSM technologie spolu s novým zabezpečovacím zařízením a nastavit tím nový standard pro budoucí racionalizaci provozu. Analogové sítě sice nemají široké uplatnění v moderních komunikacích, ale jejich používání a stávající rozsah není zanedbatelný. Jedná se o pokrytí na menších lokálních tratích, kde dopravní obslužnost není nějak významná a není zahrnuta do hlavních koridorů. Analogové sítě stále patří ke standardnímu prostředku pro komunikaci na vlečkách a nákladových překladištích, které nejsou nijak spjaty s drážním rádiovým provozem. V tomto ohledu můžeme říci, že tyto sítě nedisponují širokou aplikovatelností v řízení dopravy, ale jsou dostačující pro samotnou komunikaci při posunu a obslužnosti nákladových překladišť.

Nově používaná síť GSM-R, která je postavena na stejném základu jako GSM sice používá hardwarově podobné komponenty, ale přesto je mezi nimi mnoho rozdílů. Největším rozdílem je využívání sítě jako nosiče pro vlakový zabezpečovací systém ETCS, kde jsou kladeny vysoké nároky na stabilitu a bezpečnost sítě. Oproti tomu veřejný operátor sítě GSM používá tuto síť pro komunikaci mezi účastníky a jeho hlavním cílem je provozování sítě za účelem maximalizace zisku. Proto veřejný operátor má mnohem snadnější přechod k novým technologiím a provádí obnovu přibližně každých pět let, za účelem upoutání klientů novinkami. Mezinárodní železniční unie si je vědoma, že díky specifickým požadavkům na interoperabilitu není možné v železničních podmínkách rychlé přecházení na nové systémy podle kampaně výrobců. Přesto je nezbytné vytvářet do budoucna nové prostředí z důvodu interoperability, která je garantována pro GSM-R do roku 2030.

Nástup nové technologie je žádán i z důvodu, že doba použitelnosti vlakového zabezpečovače ETCS je do roku 2050 a bez nosné bezdrátové sítě se neobejde. Proto Mezinárodní železniční unie zahájila nástup nového systému pokrytí FRMCS, který ponese všechny vlastnosti a aplikace GSM-R a navíc bude doplněn o technologii LTE. Spolu se zaváděním FRMCS nastává otázka, zda bude provozován na novém rádiovém pásmu nebo na stávajícím rádiovém pásmu pod 1 GHz. Toto pásmo podle UIC je nedostatečné pro podporu přechodu z GSM-R na FRMCS a mohlo by omezovat rozvoj železničních aplikací.

6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na postupný rozvoj bezdrátových sítí v železniční dopravě a poskytnutí přehledu o vývoji a jejich současném stavu. Teoretická část práce stručně seznamuje s problematikou bezdrátové komunikace mezi kolejovými vozidly a dispečery. Dále představuje postupný rozvoj analogových bezdrátových sítí od jednoúčelového spojení, přes traťové rádiové spojení, až po víceúčelové rádiové sítě s možností řízení železniční dopravy.

V praktické části práce je uveden současný stav trati Praha Smíchov – Hostivice z pohledu sdělovacího a zabezpečovacího zařízení. Po provedené analýze stávajícího zabezpečovacího zařízení bylo navrženo nové technologické vybavení stanic a přílehlých mezistaničních úseků. Jedná se především o standardizovaný návrh technologického zařízení, které je specifické pro provoz v železniční dopravě a je nezbytné pro součinnost nového telekomunikačního zařízení.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout pokrytí tratě Praha Smíchov – Hostivice novým rádiovým signálem postaveném na technologii GSM a poskytnout tak návrh, který by splňoval požadavky železniční rádiové komunikace, ale i nároky na nový způsob řízení železniční dopravy. S tímto úkolem souvisel i návrh nové přenosové sítě pro přenos dat do dispečerských stanovišť, které svou polohou odpovídají návrhům studií železniční infrastruktury.

Dílním cílem práce bylo rozmístění základnových stanic BTS pro simulování pokrytí signálem GSM-R a tím zajistit bezpečnost nosiče pro moderní vlakový zabezpečovač ETCS. Tento návrh vychází z praktických zkušeností autora a běžně používaných postupů při projektování nových telekomunikačních sítí. V poslední části této práce jsou popsány ekonomické aspekty a implementace sítě do provozního prostředí železniční dopravy, ze kterých je zřejmé, že tyto výstavby jsou velmi nákladné a aplikují se pouze na strategicky významné tratě. V poslední kapitole práce je představen očekávaný vývoj těchto technologií a směr, kterým se budou do budoucna ubírat. Při zpracování této práce byly objasněny problémy plánování sítě GSM-R, pro které bylo navrženo odpovídající řešení s ohledem na používané technologie v železniční dopravě a proto lze říci, že stanovený cíl práce byl splněn.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

SEZNAM POUŽITÝCH ČESKÝCH ZDROJŮ

BAZALA, David. *Telekomunikace a VoIP telefonie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 222 s. ISBN 80-730-0201-9.

DUŠÁK, Karel a Josef KVASIL. *Telekomunikační technika v železniční dopravě*. Praha: Nadas, 1990. ISBN 81-632-0198-2.

PROKOP, Jaroslav a Jaroslav VOKURKA. *Šíření elektromagnetických vln a antény*. Praha: SNTL, 1985. ISBN 04-521-80.

SOBOTKA, Václav. *Přenosové systémy*. 1989: SNTL, 1989. ISBN 04-540-89.

VOZŇÁK, Miroslav. *Spojovací systémy*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2009, 196 s. ISBN 978-80-248-1961-7.

SEZNAM POUŽITÝCH ANGLICKÝCH ZDROJŮ

HEINE, Gunnar. *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*. London: Artech House, 1998. ISBN 0-89006-471-7.

PUSHPARATNAM, L. a T. TAYLOR. *GSM-R Procurement & Implementation Guide*. Paris: International Union of Railways (UIC), 2009. ISBN 978-2-7461-1631-3.

SEZNAM POUŽITÝCH OSTATNÍCH ZDROJŮ

ČESKÉ DRÁHY. *Nové technologie ve sdělovací technice ČD: Digitalizace, ISDN, datové sítě a přenosové systémy určené pro pracovníky údržby OSŽT a SSZT*. Brno, 2005.

MÁROVEC, A., ŽÁK, DAVID. *Železniční bezdrátová přenosová síť*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 27/2009.

Technical, Department. NORTEL NETWORKS. *GSM pro železniční komunikace: GSM-R*. Kapsch. Německo, 2011.

SŽDC. *Návod na obsluhu VO67: Airport Radar and Radiocommunication Systems*. T-CZ. Praha, 2015.

SEZNAM POUŽITÝCH INTERNETOVÝCH ZDROJŮ

AŽD a.s. *Systémy pro kolejovou dopravu elektronické stavědlo typ ESA* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-10-19]. Dostupné z:

<https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/01-ESA-33.pdf>

ČD a.s. *GSM-R II: Instalace vozidlových radiostanic* [online]. Praha, 2010 [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: <http://www.ceskedrahy.cz/skupina-cd/projekty/-20013/>

ČTU. *Všeobecné oprávnění* [online]. 2016. Praha [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/1/6.2016-8/obrazky/vo-r01-062016-08.pdf>

DCOM s. r.o. *GSM-R odolný telefon* [online]. Brno, 2014 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <https://www.wifi-obchod.cz/obchod/44-gsm-r/578-gsm-r-odolny-telefon>

KAPSCH carriercom. *GSM-R Contract for International Railway Corridor* [online]. Nortel, 2009 [cit. 2017-08-15]. Dostupné z: <http://www.marketwired.com/press-release/czech-railways-selects-kapsch-carriercom-nortel-for-gsm-r-1015891.htm>

KMITOČTY. *Komunikace na železnice* [online]. ČD a.s. 2016 [cit. 2017-08-19]. Dostupné z: <https://kmitocty.cz/2017/05/01/komunikace-na-zeleznici/>

Nortel: *Expands GSM-R Network* [online]. 2008 [cit. 2017-09-26]. Dostupné z: <http://www.unisystems.com/news/nortel-expands-gsm-r-network-two-new-railway-lines-algeria>

SNÁŠEL, Jaroslav. *Antény systému GSM: Elektrorevue* [online]. Brno: Ústav telekomunikací, 2004 [cit. 2017-09-21]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04031/index.html>

SŽDC s.o. *ERTMS: ETCS* [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-08-27]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/provozovani-drahy/ertms.html>

SŽDC s.o. *Mapy železničních sítí: Pomůcky GVD* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-09-29]. Dostupné z: <http://gvd.cz/cz/data/mapy/radia.pdf>

TTC MARCONI s.r.o. : *Dispečerské systémy* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-10-02]. Dostupné z: <http://www.ttc-marconi.com/cz/produkty/dispecerske-systemy/konos/>

VÍTEK, Petr. *EVROPSKÝ ŽELEZNIČNÍ RÁDIOVÝ STANDARD GSM-R* [online]. České budějovice: Kapsch, 2017 [cit. 2017-10-12]. Dostupné z: http://www.ztsbc.cz/wp-content/uploads/konf_oae_2017/17_Vitek_Kapsch-SB.pdf

WIKIWAND. *European Train Control System* [online]. 2015 [cit. 2017-09-18]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/European_Train_Control_System

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ASCI	Advanced Speech Call Items (Pokročilé možnosti volání)
ATC	Automatic Train Control (Automatická kontrola vlaku)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Režim asynchronního přenosu)
ATP	Automatic Train Protection (Automatické sledování vlaku)
BER	Bit Error Rate (Bitová chybovost)
BSS	Base Station Subsystem (Subsystem základnových stanic)
BTS	Base Transceiver Station (Základnová stanice)
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications (Konference evropských správ pošt a telekomunikací)
CLIP	Calling Line Identification Presentation (Prezentace čísla volanému)
CoLP	Connected Line Identification Presentation (Prezentace identifikace spojení)
DMS	Digital Multiplex System (Digitální multiplexní systém)
DOZ	Dálkové ovládání zabezpečení
DTMF	Dual Tone Multi Frequency (Tónová volba)
EAB	External Alerter Board (Skupinové volání do nehodové oblasti)
EIRENE	European Integrated Railways Radio Enhanced Network (Evropská integrovaná rozšířená železniční radiová síť)
eMLPP	enhanced Multi Level Precedence and Preemption (Rozšířené víceúrovňové předpoklady a přednostní podmínky)
ERTMS	European Rail Traffic Management System (Evropský systém řízení dopravy)
ESA	Elektronické stavědlo
ETCS	European Train Control System (Evropský vlakový zabezpečovací systém)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Evropský ústav pro telekomunikační normy)
EU	Evropská unie
FRMCS	Future Railway Mobile Communications System (Budoucí železniční mobilní komunikační systém)

GPRS	General Packet Radio Service (Služba uživatelů GSM pro přenos dat)
GSM	Global System for Mobile communication (Globální systém pro mobilní komunikaci)
GSM-R	Global System for Mobile communications – Railway (Globální systém pro mobilní komunikaci – železnice)
GTN	Graficko technologická nástavba
GUI	Graphical User Interface (Graficko uživatelské rozhraní)
HLR	Home Location Register (Domovská stránka registrace)
HLRf	Home Location Register Functional (Přiřazení funkčních čísel k registru)
HLRm	Home Location Register Mobile (Provádí kontrolu účastníka)
ISDN	Integrated Services Digital Network (digitální síť integrovaných služeb)
LDS	Local Diagnostic System (Lokální diagnostický systém)
LTE	Long Term Evolution (Technologie určená pro vysokorychlostní Internet)
MSC	Mobile Switching Center (Mobilní přepínací centrum)
MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number (Identita uživatele v digitální síti integrovaných služeb)
OPH	Operational Purpose Handheld (Kapesní přístroj pro provozní účely)
OSS	Operation Support System (Systém pro podporu provozu)
PC	Personal Computer (Osobní počítač)
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy (Nedokonalá synchronní digitální hierarchie)
PNS	Personal Numbering Service (Osobní číslovací služba)
PZZ	Přejezdové zabezpečovací zařízení
QoS	Quality of Service (Kvalita služeb)
SCP	Secure Copy Protocol (Protokol bezpečného kopírování)
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel (Samostatný vyhrazený kontrolní kanál)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy (Synchronní digitální hierarchie)
STM-1	Synchronous Transport Module (Synchronní transportní modul)
SW	Software
SZZ	Staniční zabezpečovací zařízení

SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protokol kontroly přenosu/Internetový protokol)
TCH	Traffic CHannel (Dopravní kanál)
TNŽ	Technická norma železnic
TRS	Traťové rádiové spojení
TSCCH	Time Sharing Control CHannel (Časování přenosového kanálu)
TZZ	Traťové zabezpečovací zařízení
UIC	International Union of Railways (Mezinárodní železniční unie)
USSD	Unstructured Supplementary Service Data (Nestrukturované doplňkové servisní údaje)
UUS1	User To User Signalling 1 (Signalizace od účastníka k účastníkovi)
VBS	Voice Broadcast Service (Služba vysílání hlasu)
VGCS	Voice Group Call Service (Hlasová služba pro skupinové volání)
VPN	Virtual Private Network (Virtuální privátní síť)
VRT	Vysokorychlostní trať

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Základní princip stuhové traťové rádiové sítě.....	15
Obrázek č. 2: Vztahy mezi institucemi	22
Obrázek č. 3: Interoperabilita jednotlivých sítí	23
Obrázek č. 4: Kmitočtové pásmo.....	24
Obrázek č. 5: Požadavky drah na provoz	25
Obrázek č. 6: Vlastnosti a funkce sítě.....	26
Obrázek č. 7: Antidistorzní algoritmus	33
Obrázek č. 8: Skupinové volání VBS	36
Obrázek č. 9: Prezentace funkčního adresování	39
Obrázek č. 10: Požadavky na přenos dat	40
Obrázek č. 11: Spolehlivost systému	42
Obrázek č. 12: Blokové schéma elektronického stavědla.....	46
Obrázek č. 13: Plánovaná infrastruktura ETCS.....	50
Obrázek č. 14: Provoz pod dohledem ETCS L3.....	51
Obrázek č. 15: Komunikace mezi GSM-R a ETCS.....	52
Obrázek č. 16: Návrh páteřní optické sítě.....	57
Obrázek č. 17: Barevná stupnice úrovní signálu	64
Obrázek č. 18: Simulace pokrytí stanice Hostivice	64
Obrázek č. 19: Simulace pokrytí stanice Praha Zličín.....	65
Obrázek č. 20: Simulace pokrytí Praha Cibulka směr Zličín	66
Obrázek č. 21: Simulace pokrytí Praha Cibulka směr Jinonice.....	66
Obrázek č. 22: Simulace pokrytí stanice Praha Jinonice	67
Obrázek č. 23: Simulace pokrytí v lokalitě Praha Konvářka.....	68
Obrázek č. 24: Simulace pokrytí v Hlubočepském údolí	69
Obrázek č. 25: Simulace pokrytí ve stanici Praha Smíchov	70
Obrázek č. 26: Umístění BTS stanice podél trati.....	73
Obrázek č. 27: Dispečerská konzole Konos-Dot	76
Obrázek č. 28: Mobilní zařízení OPH-810R	77
Obrázek č. 29: Investiční a provozní náklady.....	79

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Navrhované lokality.....	63
--	----