



David Žák<sup>1</sup>

## **Komunikační systém ICOM architektury InteGRail a národní projekt železniční bezdrátové přenosové sítě**

**Klíčová slova:** *InteGRail, ICOM, ŽBPS, datové komunikace, železnice*

### **1. Úvod**

Evropská poradní rada pro železniční výzkum (European Rail Research Advisory Council - ERRAC) navrhla zvýšit do roku 2020 podíl na přepravě osob a nákladů po železnici na dvojnásobek a celkový objem osobní a nákladní dopravy po železnici na trojnásobek objemu realizovaného v roce 2000 [1]. Těchto cílů by mělo být dosaženo při snížení nákladů a při zachování stávající dobré úrovně bezpečnosti ve srovnání s jinými druhy dopravy. Jednou z reakcí železničního výzkumu na výzvu ERRAC byl projekt InteGRail [2], projekt 6. rámcového programu EU.

Projekt InteGRail byl interně rozčleněn na několik subprojektů. Subprojekt „Advanced System Communication“ měl za úkol navrhnout hladký a efektivní tok informací v celém železničním systému pomocí moderních komunikačních sítí. V rámci tohoto subprojektu vznikl návrh komunikačního systému ICOM.

Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře s navrženým komunikačním systémem pro železniční prostředí ICOM, zejména s částí zabývající se problematikou bezdrátových přenosů dat mezi vlaky a pozemními systémy a se jmennou adresací v architektuře ICOM. Závěr článku je věnován vztahu mezi architekturou ICOM a doposud realizovaným konceptem národního komunikačního řešení označovaného jako železniční bezdrátová přenosová síť (ŽBPS).

Projekt InteGRail si kladl za cíl vytvořit ucelený, koherentní informační systém, integrující hlavní železniční subsystemy, s cílem dosáhnout vyšší úrovně výkonnosti železničního systému z hlediska kapacity, průměrné rychlosti, přesnosti, bezpečnosti a optimálního využití zdrojů. V návaznosti na výsledky předchozích projektů InteGRail stanovil jednotný rámec pro integraci jednotlivých železničních subsystemů a poskytl vstupy pro specifikaci nových standardů v souladu se směrnicemi EU a TSI.

Výsledky projektu InteGRail byly prezentovány na 3 demonstračních scénářích s cílem prokázat, že systém realizovaný dle navržené architektury je funkční a splňuje cíle projektu.

---

<sup>1</sup> RNDr. David Žák, Ph.D., nar. 1970, Univerzita Palackého Olomouc, specializace experimentální technika, nyní Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informačních technologií, Studentská 95, 532 10 Pardubice

*Fakta a čísla*

InteGRail zahájen 01.1.2005 a ukončen 31.03.2009  
 Celkový rozpočet projektu: 20 milionů eur  
 Finanční příspěvky EU: 11 milionů eur  
 Celkové pracovní úsilí přes 125 človekolet  
 39 partnerů z 11 zemí

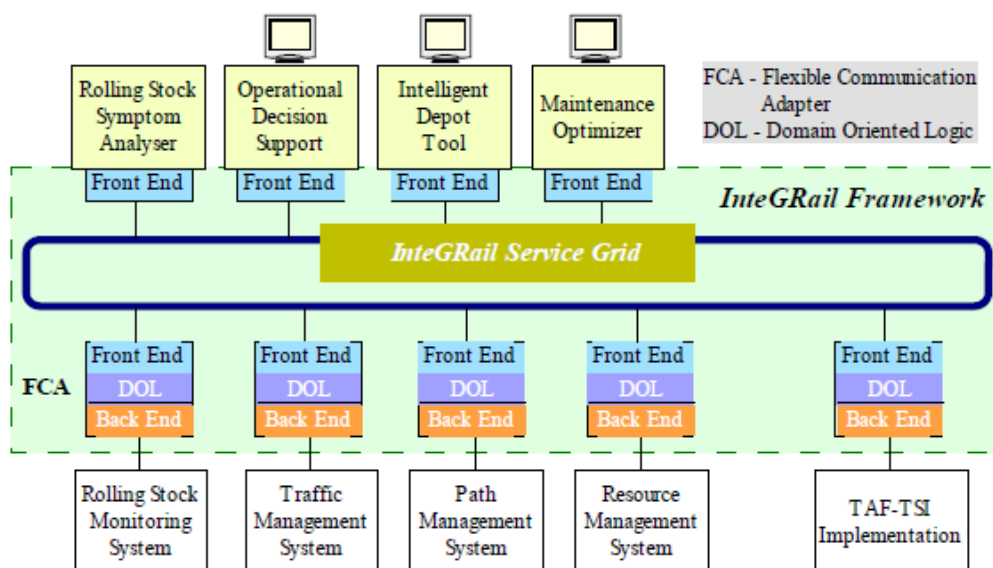
## 2. Architektura systému InteGRail

Navržená architektura systému InteGRail musí zajistit možnost výměny dat mezi jakýmkoliv elementy železničního systému. Těmito elementy mohou být systémy a subsystémy, různá složitá zařízení umístěná ve vozidle, na dispečerském pracovišti, v depu apod.

Pro splnění tohoto požadavku definuje architektura InteGRail, jak znázorňuje Obr. 1, dva základní prvky [3]:

- InteGRail Service Grid (ISG) – poskytuje sadu služeb pro výměnu dat mezi elementy železničního systému tj. mezi ISG uzly,
- Flexible Communication Adapter (FCA) – zajišťuje připojení elementů železničního systému k ISG.

ISG spolu s FCA tvoří rámec (framework) pro integraci železničních subsystémů.



Obr. 1 Architektura systému InteGRail, zdroj [3]

### 3. ICOM – Intelligent Communication Framework

Komunikační systém ICOM je integrovanou heterogenní sítí. To znamená, že obsahuje komunikační sítě různých typů: sítě ve vozidlech (např. TCN, CAN), sítě v dispečerských střediscích (TCP/IP), rádiové sítě (např. GSM-R/P, Wi-Fi), telefonní sítě apod. ICOM zajišťuje aplikacím v železničním systému jednotné komunikační rozhraní, tj. zařízení mají k dispozici stejnou sadu komunikačních služeb bez ohledu na typ sítě, ke které jsou připojeny.

Služby InteGRail Service Grid (ISG) používají služeb ICOM, např. v jednom ISG uzlu (připojen jedním FCA adaptérem) může být řada ICOM sítí s mnoha ICOM uzly.

Důležitou vlastností komunikačních služeb ICOM je možnost specifikace jejich chování zadáním hodnot parametrů označovaných jako QoS (Quality of Service). Jako příklad QoS parametru uveďme parametr `minimum_separation`, který může zadat konzument procesních dat některého subsystému na vozidle. Parametr má tento význam: příjemce dat nechce dostávat hodnotu častěji než jednou za čas uvedený parametrem `minimum_separation` bez ohledu na to, jak často se hodnota mění.

Projekt InteGRail předpokládá, že komunikační infrastruktura ve vozidlech bude perspektivně realizována na bázi IP (Internet Protocol) technologií, což podstatně usnadní její integraci s pozemní komunikační infrastrukturou a umožní realizovat služby, které vyžadují přenos velkého množství dat. [3]

ICOM je definován jako komunikační framework pro datovou komunikaci v železničním prostředí popisující:

- architekturu sítě, jejích uzlů a distribuci dat v sítích,
- funkční rozhraní (vypracována na základě analýzy více než 300 požadavků),
- vzory a protokoly včetně pokynů pro jejich nasazení.

Cílem návrhu ICOM je přechod od vlastních technologií k aplikacím a definice rozhraní nezávislých na konkrétních technologiích.

Frameworkem rozumíme celkovou architekturu řešení, která slouží k převzetí typických problémů dané oblasti, aby se tvůrci jednotlivých aplikací a zařízení mohli soustředit pouze na své zadání a nemuseli řešit problematiku složitých komunikací v železničních datových sítích. Framework je reprezentován množinou hardwarových a softwarových produktů s rozhraními na stávající či budoucí systémy na palubě vozidla či vlaku. Základními principy jsou strukturovanost, rozšiřitelnost, modularita a škálovatelnost řešení.

ICOM má překlenout rozdíly mezi různými technologickými řešeními zaměřenými na specifické síťové technologie:

- Komunikace v rámci
  - o kolejového vozidla
  - o vlaku, včetně jeho sestavení
  - o mezi vlaky a infrastrukturou v dedikovaných či veřejných sítích
  - o v rámci pevných sítí
- Přenosy dat pro řízení a diagnostiku vozidla a multimediálních dat
- Železniční versus IP (internetové) technologie

#### **4. Bezdrátové technologie v síti ICOM**

Často diskutovanou otázkou je výběr vhodné přenosové technologie. ICOM nedefinuje nové komunikační technologie, ale byl navržen s cílem začlenit co nejlépe stávající a budoucí technologie. ICOM se nesoustředí na nalezení kompletního řešení pro jeden problém, ale stanovuje obecný rámec pro širokou škálu systémových návrhů.

Hlavním problémem je stanovení správné úrovně společného (závazného) rozhraní a prvků. „Je-li příliš specifická, ICOM nebude schopen integrovat mnoho potenciálních systémů. Pokud je příliš obecná, ICOM nebude schopen realizovat mnoho užitečných funkcí.“ [4]

##### *Příklady komunikačních situací v železničním prostředí*

Existuje několik klíčových vlastností a charakteristik železničního systému, ze kterých vyplývají požadavky na komunikační řešení – ICOM [5]:

- Vlaky, jedna z hlavních složek železničního systému, jsou v pohybu. Některé z nich se pohybují velmi vysokými rychlostmi. Odtud pramení potřeba bezdrátových komunikací a volba vhodné technologie dle rychlosti pohybů vlaků.
- Většina potřeb aplikací nevyžaduje zvlášť vysoké rychlosti přenosu dat, ale může nastat provozní potřeba mnoha souběžných datových přenosů (z různých aplikací) z jediného vozidla.
- Počet bezdrátových terminálů může být vysoký (několik vlaků pohybujících se v dané oblasti).
- Některé aplikace vyžadují vysokou úroveň QoS, případně časová omezení.
- Několik rádiových technologií, může být přítomno (ale ne vždy a ne jednotným způsobem) podél trasy (např. GSM, GSMR, GPRS, EDGE, UMTS, WiMAX, WiFi, UWB, DVB-H, satelitní technologie, apod.).

- Některé radiové technologie nejsou příliš vhodné pro požadovanou mobilitu ve smyslu rychlosti, naopak celulární systémy s ní nemají problémy. „Cenou“ za mobilitu je nízká rychlost přenosu dat v celulárních systémech.
- Přenosová kapacita radiových sítí je omezena (například systém může podporovat 100 simultánních uživatelů s přenosovým pásmem 10 kb/s nebo stejný systém může obsluhovat 2 simultánní uživatele s pásmem 400 kb/s).
- Velikost buňky je omezena maximálním vyzařovaným výkonem z antény, který je buď dán zákonem nebo někdy omezen interferencí.
- Některé stavby v okolí tratí výrazně ovlivňují šíření rádiového signálu (např. zářezy, viadukty, tunely, stromy, budovy, atd.).
- Vzhledem k tomu, že žádná z technologií nespĺňuje všechny požadavky pro aplikace a žádná z nich není k dispozici všude, musí návrh ICOM spoléhat na kombinaci několika radiových systémů. To vyžaduje ošetření vertikálního a horizontálního handoveru – předání přenosového kanálu nejen mezi buňkami stejné sítě, ale i mezi různými typy sítí. Jedná se o zcela novou oblast výzkumu a definitivní návrh řešení zatím není k dispozici.
- Zatímco aplikace předpokládají, že ICOM bude poskytovat transparentní vždy dostupný komunikační kanál, ve skutečnosti bude ICOM pracovat v reálném světě, kde šumy, zpoždění, ztráta dat, apod. jsou součástí života a ovlivňují dostupnost komunikačních služeb.

#### *Příklady využití bezdrátových technologií pro konkrétní aplikace*

Dokument [5] podává také přehled o různých bezdrátových technologiích, které by mohly být použity jako alternativní nebo doplňkové technologie k technologii GSM-R. Některé z těchto technologií jsou již běžně dostupné, jiné jsou ve fázi implementace a některé z nich budou k dispozici v budoucnosti. Systém InteGRail předpokládá použití mnoha různých bezdrátových technologií pro komunikaci mezi vlakem a infrastrukturou. Budoucí železniční komunikační systém by měl být velmi flexibilní z hlediska technologií přenosových sítí a mělo by být možné jej rozšiřovat o nové komunikační technologie v budoucnu.

Cílem návrhu vhodné komunikační infrastruktury je, aby od začátku do konce bylo spojení bezproblémové, i když vlak překročí hranice oblastí, kde jsou k dispozici jiné komunikační technologie.

V dokumentu [5] jsou definovány případy užití typické pro železniční prostředí. Na základě těchto případů užití je možné specifikovat některé požadavky na komunikační systém pro toto prostředí. Následující tabulka (Tab. 1) uvádí hrubý přehled případů užití a vhodných technologií pro jejich naplnění.



**Tab. 1 Případy užití a technologie vhodné k naplnění jejich komunikačních potřeb, zdroj [5]**

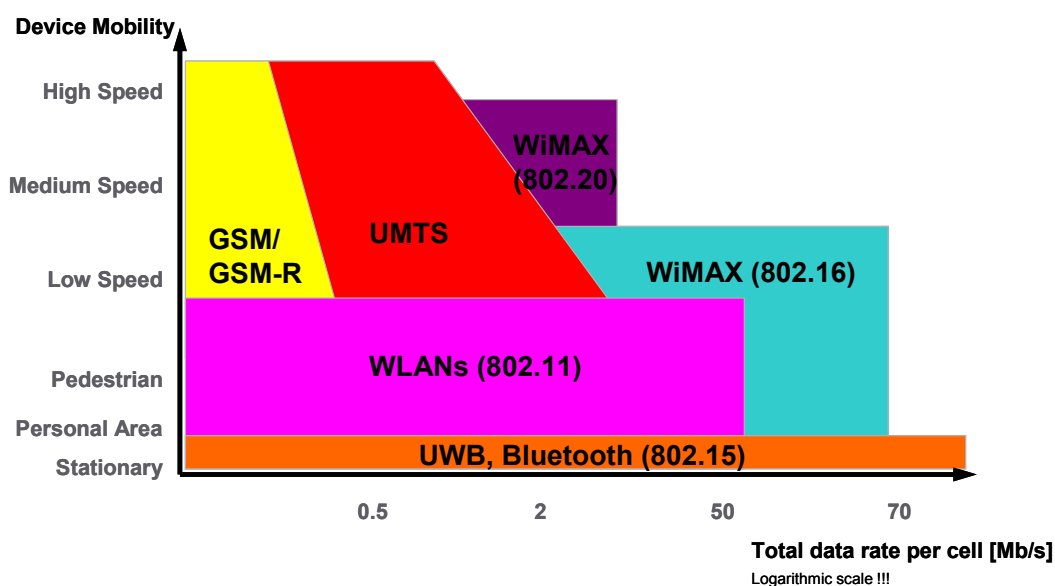
	Případ užití	GSM-R	GPRS	EDGE	UMTS	WLAN	WiMAX	DVB-H	SatCom
1.	Transmission of High Priority Rolling Stock Faults	x	x	X	x	x	x		
2.	Upload of Rolling Stock Diagnostic Data	x	x	x	x	x	x		
3.	Upload of Rolling Stock Condition Data	x	x	x	x	x	x		
4.	Software and Configuration Data Download			x	x	x	x		
5.	Recovery Download to Train in Operation			x	x	x	x		
6.	Transmission of Infrastructure Faults	x	x	x	x	x	x		
7.	Operator Staff to Nearby Equipment		x	x	x	x	x		
8.	Updates on Other Trains Time Schedule		x	x	x	x	x		
9.	Train Timetable Update		x	x	x	x	x	x	x
10.	International Train								
11.	Train as Carrier Pigeon					x	x		
12.	Transparent Radio Resources	x	x	x	x	x	x		
13.	Access Control to On-board Networks								
14.	Download of Platform Camera Video Streams				x	x	x	x	x
15.	Upload of Video Surveillance Data s				x	x	x		
16.	Use of On-board Real-time Network	x	x	x	x	x	x		
17.	Time Synchronisation	x	x	x	x	x	x	x	x
18.	On-board Public Address	x			x	x	x		
19.	On-board Intercom	x							
20.	Download of Passenger Related Information		x	x	x	x	x	x	x
21.	Train Data Upload on Demand	x	x	x	x	x			
22.	Application handling of ICOM errors and services unavailability	x	x	x	x	x	x	x	x
23.	Communication Resources Negotiation with Public Telco								
24.	Transmission of Diagnostic Data to Train Crew								
25.	Support of Cross Monitoring Train / Infrastructure								
26.	IGR Operator Management of ICOM Network	x	x	x	x	x	x	x	x

*Železniční komunikační scénáře*

Bezdrátové technologie mají určitá omezení, pokud jde o možnou rychlost pohybu mobilního zařízení. Některé z těchto technologií jsou vhodné pro bezdrátovou komunikaci nepohyblivých objektů, jiné mohou být provozovány až do velmi vysokých rychlostí. Vlaky jsou provozovány v rámci širokého spektra rychlostí. Vhodnost konkrétních bezdrátových technologií pro různé provozní potřeby železnice popíšeme v následujících čtyřech scénářích, které se liší různými rychlostmi pohybu vlaků:

- 0 – 7 km/h            stacionární,
- 7 – 80 km/h        nízká rychlost,
- 80 – 160 km/h    střední rychlost,
- 160 – 350 km/h   vysoká rychlost.

Následující obrázek (Obr. 2) ukazuje možnosti využití různých bezdrátových technologií s ohledem na mobilitu a přenosovou rychlost. Čím nižší je rychlost přenosu dat a mobilita, tím více technologií je k dispozici. Z obrázku je zřejmá vhodnost konkrétních bezdrátových technologií pro jednotlivé rychlostní scénáře.



*Obr. 2 Mobilita versus přenosová rychlost, zdroj [5]*

Obecně lze konstatovat, že pouze technologie s “handover“ mechanismy jsou vhodné pro vyšší než “pěší” mobilitu. Cílem subsystému ICOM je využití více možných komunikačních sítí a umožnění pohybu mezi různými přenosovými sítěmi. To vše má vést ke zlepšení propustnosti dat do/z mobilního komunikačního zařízení. Přístup k mobilním přenosovým technologiím zajišťuje pro zařízení na vlaku mobilní komunikační brána (MCG).



## **Stacionární scénář**

Z hlediska ICOM se stacionární scénář vyskytuje hlavně v železničních stanicích nebo v depech kolejových vozidel či jiných servisních místech. Z hlediska mobility je možné použít libovolnou bezdrátovou technologii.

Předpokládá se, že železniční stanice ve většině evropských zemí budou dříve či později pokryty signálem sítě GSM-R. Na vlakových nádražích uživatelé GSM-R mohou pomocí přepojování okruhů v síti GSM-R realizovat hlasové i datové hovory.

Podle konkrétní situace v daném místě či státě jsou obvykle k dispozici některé z veřejných 2G, 2,5 G a 3G sítí. Tyto sítě mohou být použity pro podporu ICOM a některé z nich disponují i dostatečnou přenosovou kapacitou. Vlakové stanice jsou obvykle zastřešeny, takže možnost příjmu signálu ze satelitních systémů je obvykle špatná.

WLAN sítě založené na standardu 802.11x by mohly být jedním z nejlevnějších bezdrátových řešení v železniční stanici. Datová propustnost vyhovuje většině aplikací ICOM. Jsou zde však určitá omezení ohledně bezpečnosti a spolehlivosti, protože tyto technologie pracují v bezlicenčním pásmu. V tomto pásmu hrozí rušení od jiných uživatelů, které by mohlo mít vliv na kvalitu služeb. Mobilní komunikační brána (MCG) musí být schopna odolávat útokům a v těchto sítích musí být zajištěna bezpečnost a autentizace uživatelů.

Sítě založené na standardu 802.16 a 802.20 WiMAX jsou rovněž dobrou volbou pro ICOM. Jsou výsledkem vývoje WLAN technologií a umožňují vyšší přenosové rychlosti.

Krátký rozsah sítí PAN založených na standardu 802.15.x je značně limitující, jejich případné využití však nelze zcela vyloučit.

## **Scénář pro nízké rychlosti**

Scénář pro nízké rychlosti v souvislosti s ICOM zahrnuje mobilní zařízení pohybující se až do rychlosti 80 km/h. Tento scénář pokrývá místní/regionální železniční dopravu, ať už jde o vlaky, metro, příměstské spoje nebo posun.

Z pohledu mobility zde neexistují žádná omezení pro GSM-R, UMTS, WiMAX a satelitní systémy. Pokud je pokrytí k dispozici, jmenované sítě lze snadno použít. Standard založený na WLAN nemusí fungovat správně, ale existují i sítě WLAN, které jsou optimalizované pro takové rychlosti a budou v tomto scénáři použitelné.

Rodina sítí WiMAX podle standardu 802.16 a 802.20 bude pracovat v takovéto situaci bez omezení.





Satelitní systém bude pracovat z pohledu mobility, ale vyžaduje přímou viditelnost a správné nastavení směrové antény na družici. Některé systémy však jsou schopny správně anténu směřovat i během pohybu a mohly by být použity.

## **Scénář pro střední rychlosti**

Rychlost v intervalu od 80 km/h do 160 km/h je definována ve scénáři pro střední rychlosti. Těmito rychlostmi se pohybuje většina meziměstských vlaků, stejně tak jako běžné nákladní vlaky.

Pro tento scénář by nemělo být žádné omezení pro využití 2G, 2,5G a 3G sítí. Přesto je důležité dobré plánování rádiového pokrytí pro bezchybný handover buněk v náročném železničním prostředí. Zejména na tratích s tunely musí být zajištěno dobré pokrytí i v tunelech či hlubokých zářezech.

WiMAX sítě založené na standardu 802.16 si umí poradit s rychlostí až 120 km/h. Pro rychlosti do 160 km/h může být nutná jejich optimalizace. Protože sítě typu 802.20 jsou specifikovány až do rychlosti 250 km/h, jsou vhodné pro použití v tomto scénáři ICOM.

Satelitní systémy jsou vhodné pro jiné než kontinuální přenosy dat. Satelitní systémy mají problémy se zakrytím výhledu podél železniční tratě na linii pohledu směrem k satelitu.

## **Scénář pro vysoké rychlosti**

Vysokorychlostní scénáře jsou pro bezdrátovou komunikaci docela složité. Rychlostmi 160 až 350 km/h se pohybují vysokorychlostní vlaky na zvláštních vysokorychlostních tratích. Úkolem sítí je zachovat komunikační spojení i při pohybu vlaku vysokou rychlostí. V kopcovitých oblastech jsou vysokorychlostní vlaky vedeny tunely, což komplikuje správné radiofrekvenční plánování.

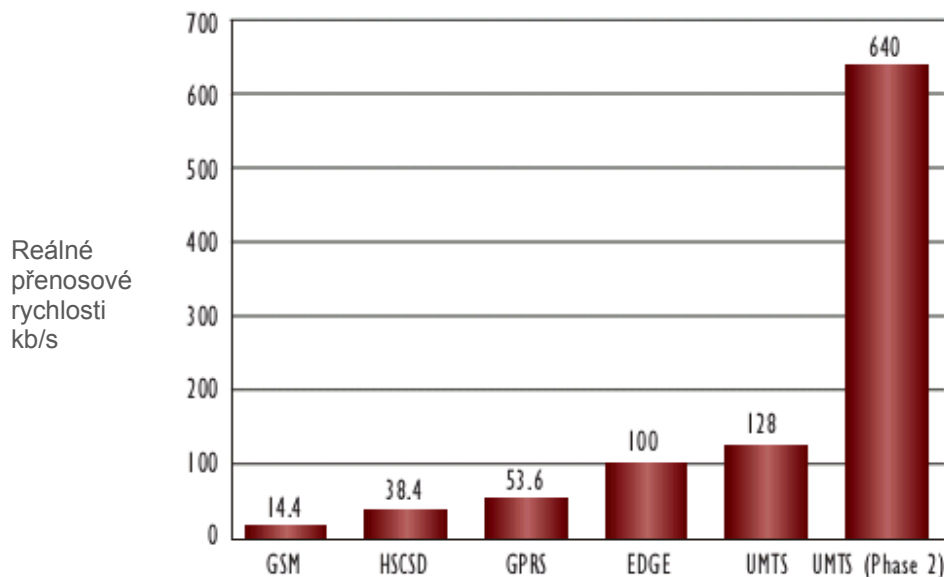
Pro 2G, 2,5 G a 3G sítě je nutné zvláštní kmitočtové plánování. K přechodu mezi buňkami (handoveru) dochází v krátkých časových intervalech. Na některých železničních tratích, kde se jezdí rychlostmi až 300 km/h, jsou v provozu GSM-R sítě. Rádiové subsystémy GSM-R jsou specifikovány až do rychlosti 500 km/h, takže použití technologie GSM-R je možné.

Satelitní systémy mohou být ve vysokorychlostním scénáři také použity. Vzhledem ke specifickým geometrickým trajektoriím vysokorychlostních tratí, které minimalizují křivky a svahy, nejsou omezení pro antény tak důležitá.

Ze sítí WiMAX pouze standard 802.20 má pracovat až do rychlosti 250 km/h, ale předpokládá se potřeba optimalizace pro funkčnost v celém rozsahu rychlostí

pro vysokorychlostní scénář, tj. do 350 km/h.

Obr. 3 ukazuje reálné přenosové rychlosti při použití různých bezdrátových technologií.



Obr. 3 Reálné přenosové rychlosti v bezdrátových sítích, zdroj [5]

### Licence

Bezdrátové technologie je možné provozovat buď v licencovaných frekvenčních pásmech, nebo v tzv. bezlicenčních pásmech. Licence slouží k získání výhradního práva pro užití určitého frekvenčního pásma na konkrétním území či směru komunikace. Existují i licence národní nebo regionální pro používání určitého frekvenčního pásma. Licence je možné za úplaty získat od příslušného národního regulačního orgánu, v ČR je tímto orgánem Český telekomunikační úřad.

### ISM pásma

Nelicencované bezdrátové technologie pracují v tzv. ISM pásmu (Industrial Scientific and Medical radio band). ISM pásma jsou definována v ITU-R 5.138, 5.150, a 5.280. Tato frekvenční pásma nejsou přidělována jednotlivým uživatelům, ale jsou volně a bezplatně k použití za předpokladu dodržení stanovených podmínek pro dané pásmo, tj. maximální vyzařovaný výkon, případně způsob využití, či architektura sítě (Point-to-Point či Point to Multipoint). V jednotlivých zemích se mohou ISM pásma i omezující podmínky lišit, velké rozdíly pak jsou mezi Evropou a Amerikou.

Typickým příkladem technologie pracující v ISM pásmu jsou WiFi v pásmu 2,4 GHz či 5,7 GHz, Bluetooth, RFID (13,56 MHz), dálkové řízení modelů (27 MHz, 40,6 MHz), dětské chůvy (433 MHz), radiová termometrie (433 MHz), dálkové ovládání zámků aut (433 MHz), bezdrátová sluchátka (864 MHz), bezdrátové video systémy



(2400 MHz), ZigBee (2400 MHz), HIPERLAN (5200 MHz), parkovací radary / radarové aplikace krátkého dosahu (dočasně 24 GHz, později 79 GHz), radarové senzory pohybu, atd.

Velkou výhodou nelicencovaných pásem je dostupnost levných technologií na trhu a možnost realizace spojení bezplatně a bez administrativních úkonů. Na druhou stranu, některá pásma jsou již přetížena (např. WiFi 2,4 GHz), což může způsobovat problém se vzájemným ovlivňováním jednotlivých uživatelů – tzv. interference, které mohou vést až k totálnímu kolapsu v některých kanálech daného ISM pásma. Proto řešení na těchto technologiích nelze považovat za spolehlivá.

## **Licencovaná pásma**

Sítě GSM-R i GSM jsou typickými příklady licencovaných technologií, což znamená, že pro jejich nasazení má provozovatel povinnost získat licenci.

Spolehlivost a QoS licencovaných technologií jsou obvykle vyšší a jsou stabilnější než nelicencované ISM technologie. Často se jedná o profesionální řešení a řízenou síť, jejíž výstavba probíhá s využitím odborného radiového plánování pro omezení nežádoucích interferencí.

Pro InteGRail je ICOM subsystémem směřujícím k využití existujících technologií podél železničních tratí a neklade požadavek na licencované pásmo. V podstatě se jedná o standardní problematiku, kterou řeší provozovatelé mobilních sítí s regulačními institucemi jednotlivých zemí a výběr pásma souvisí s definicí služeb (obchodně i technicky), které na dané síti budou provozovány.

Cílem InteGRail nebylo navrhnout nové technologie, ale spíše využít toho, co je k dispozici podél trati nebo uvažovat o zavedení některé ze standardních technologií.

### *GSM-R a ICOM*

GSM-R je infrastruktura bezdrátového komunikačního systému 2,5-té generace. Byla speciálně navržena pro železniční prostředí a nabízí speciální služby, které vyhovují přímo komunikačním potřebám cílového uplatnění na železnici. Na GSM-R přímo navazují systémy ERTMS a ETCS. I když technologie GSM-R již prokázala svou užitečnost v dané oblasti a postupně byla nasazena na mnoho železničních tratí v Evropě či Asii, je stále jasnější, že se svou omezenou datovou propustností a omezeným spektrem (2 x 4 MHz) nebude schopna pokrýt potřeby všech vznikajících aplikací v železničním prostředí. Vážně se diskutuje o možnosti rozšíření používaného pásma, neboť již dnes je ve velkých evropských železničních uzlech v dopravních špičkách problém s kapacitou pro přenos informací sloužících jen k řízení provozu.

„Budoucnost telekomunikačních řešení pro výměnu informací mezi vlaky a pozemními systémy v evropském železničním prostředí jednoznačně spočívá v hybridním řešení kombinující výhody několika technologií a komunikačních konceptů.

Jde ve skutečnosti o obecný trend v moderním návrhu komunikačního systému, viz například poslední vývoj pro širokopásmové přístupy z mobilních telefonů. Proto je třeba ICOM, moderní komunikační subsystém pro železnice, od začátku budovat s cílem usnadnit integraci heterogenních sítí a technologií. Jen tak bude moci obsloužit široké spektrum současných a budoucích železničních aplikací potřebných pro jízdu vlaku a zároveň co nejlépe využívat dostupných technologií a nechat otevřené dveře k inovačním řešením - neustálému vývoji v telekomunikační oblasti.“ [6]

### *IP - technologie pro InteGRail*

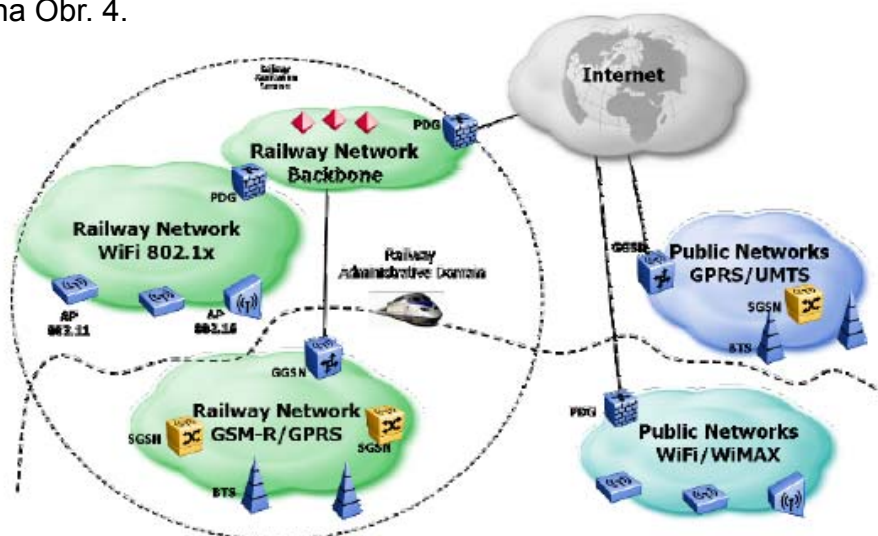
V dokumentech InteGRail lze najít odpověď i na otázku volby protokolů - „Protokol IP se perfektně hodí, protože je již připraven na řešení problematiky mobility pomocí mobileIP nebo IPv6.“

Všechna přenosová řešení postupně konvergují směrem k IP. Většina síťových prvků bude využívat IP pro přenos dat i pro přenos hlasu.

Aplikace "All IP" trendu i v rámci projektu InteGRail přináší spoustu výhod. Na trhu bude k dispozici spousta produktů, ať už softwarových či hardwarových, stejně tak i znalosti k řešení různých problémů, standardy i dostatek odborníků v této oblasti. To obecně povede ke zlepšení úrovně železniční komunikace a relativně nízkým nákladům na implementaci přenosových řešení.

### *Veřejné sítě*

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, cílem ICOM není definice nové mobilní sítě pro železniční prostředí, ale smysluplné využití existujících i budoucích řešení. Pod těmito slovy lze chápat i využití veřejných mobilních sítí, v tuto chvíli sítí 2,5. a 3. generace, v budoucnu pak sítí 4. generace. Příklad integrace veřejné sítě do ICOM je uveden na Obr. 4.



**Obr. 4 ICOM – architektura přístupových sítí, zdroj [5]**



## 5. Jmenná adresace v síti ICOM

Aplikace by měly být co nejméně ovlivněny změnami souvisejícími s alokováním IP adres a dynamickými změnami v síti. Dobrým příkladem pro ilustraci je změna aktivního displeje v kabině strojvedoucího při změně směru vlaku a přechodu strojvedoucího na druhé stanoviště. Mnoho zařízení (na zemi a/nebo na vlaku) potřebuje komunikovat s tímto displejem pro přenos informací – například upozornění o určité změně stavu, která nastala na vlaku nebo v informačním systému.

Důležité je, aby se tyto aplikace nemusely zabývat hledáním skutečné fyzické (například IP adresy) tohoto displeje, ale tento displej byl aplikací adresován jako „aktivní displej“ v kabině strojvedoucího vedoucího hnacího vozidla daného vlaku (při komunikaci v rámci vlaku, nebo konkrétního vlaku konkrétního dopravce, který je identifikován číslem nebo názvem vlaku a označením dopravce).

### *URI*

Pro adresaci je využíváno tzv. URI (Uniform Resource Identifier – „jednotný identifikátor zdroje“ dle RFC 3986), což je řetězec znaků s definovanou strukturou, který slouží k přesné specifikaci zdroje informací (ve smyslu dokument nebo služba). URI obsahuje název takzvaného schématu, následovaný dvojtečkou a dále prakticky libovolným řetězcem, jehož význam a formátování závisí právě na použitém schématu. Standard URI je běžně používán například pro adresaci zdrojů na internetu.

Pokud všechny aplikace pracují s tímto URI, je dostačující, že informace o změně fyzické adresy nebo naopak o změně funkce zařízení se promítne do jediného zařízení, které je pro ostatní autoritou. V okamžiku potřeby komunikace s daným zařízením identifikovaným pomocí URI se pak využije informací z těchto autoritativních zařízení, které znají konkrétní fyzické adresy či funkce zařízení ve vlaku, pro překlad daného URI na fyzickou adresu. Takováto „autoritativní“ zařízení se vyskytují jak ve stacionární části sítě, tak mohou být i na konkrétním voze či vlaku a tyto dohromady pak realizují uvedenou funkční adresaci v rámci celého řešení InteGRail.

Jmenná adresace v rámci InteGRail je založena na uvedeném RFC3986 a předpokládá využití schémat http a mailto. Konstrukce URI adres je popsána například v dokumentech [7] a [8] a principy jsou stručně uvedeny v následujících kapitolách.  
*Adresace funkce v zařízení na palubě vlaku*

Statická adresa je založena na informacích, které se během provozu nemění. Její struktura je následující:

[http://\[device\].\[vehicle\].\[consist\].\[fleet\].\[IRS Owner\].\[com\]/\[instance\]/\[function\]](http://[device].[vehicle].[consist].[fleet].[IRS Owner].[com]/[instance]/[function])

Dynamická adresa je založena na kombinaci statických a dynamických informací ve struktuře doménového jména, mezi dynamické patří například číslo vlaku, označení dopravce, v jehož vlaku je vůz zařazen, případně funkce vozidla na vlaku a podobně, struktura takové adresy je:

[http://\[device\].\[vehicle\].\[consist\].\[train\].\[TrainOperator\].\[com\]/\[instance\]/\[function\]](http://[device].[vehicle].[consist].[train].[TrainOperator].[com]/[instance]/[function])

## 6. ICOM a ŽBPS

Integrace heterogenních sítí železnic, ať už z pohledu národního či mezinárodního, se stává klíčovým technickým problémem a výzvou zároveň. Cílem této kapitoly je popsat možnosti implementace výsledků projektu InteGRail, konkrétně specifikace komunikačního systému ICOM, pro datové komunikace na železnici v České republice.

Výstupem pracovní skupiny řešící problematiku ICOM jsou například dokumenty [7] a [8], které definují obecnou architekturu pro komunikaci uvnitř železničních vozů, ucelených souprav, vlaků a následně i pro komunikaci s centrálními informačními systémy. Součástí těchto dokumentů je návrh jmenových názvů pro adresaci funkcí a zařízení v rámci navrhované architektury.

Na práci skupiny a tvorbě dokumentů se výrazně podíleli výrobci železničních vozidel, komunikačních technologií i zástupci železnic. Výsledkem je velice robustní architektura komunikačního systému ICOM, v jejímž návrhu jsou zohledněny požadavky jednotlivých uživatelů a účastníků komunikace včetně bezpečnostních hledisek, která je třeba vzít v úvahu v tak heterogenním prostředí, jakou je železniční doprava – navíc v mezinárodním měřítku, kde se setkávají různí vlastníci (zařízení, vozů, infrastruktury), provozovatelé, dopravci, servisní společnosti a komunikační operátoři.

V rámci projektu InteGRail vzniklý návrh architektury ICOM je podstatným vstupem pro práci standardizační pracovní skupiny IEC/TC9/WG43, která specifikuje palubní komunikační infrastrukturu včetně komunikace mezi vlaky a pozemními systémy. Z pracovní skupiny WG43 vzejde i definitivní podoba standardu funkční adresace.

Mnoho funkčních požadavků uvedených v dokumentech InteGRail je však možné v národním komunikačním řešení využívat již dnes. Doposud realizovaný koncept národního komunikačního řešení označovaný jako železniční bezdrátová přenosová síť (ŽBPS) je založen na základních principech předložené architektury ICOM popsané v projektu InteGRail. V ŽBPS [9] jsou například implementovány funkce jmenové adresace zařízení na kolejových vozidlech na základě funkce zařízení, označení vozidla, případně čísla vlaku, dále je možné mezi aplikacemi navzájem sdílet informace o poloze vozidla/vlaku či zavádět nové funkce, které budou nadstavbovým systémům předávat další (již v síti dostupné) informace.



Využití jediného koordinovaného národního komunikačního řešení přinese možnost sdílení již osazených nebo nově instalovaných komunikačních zařízení i pro další aplikace a systémy vozidla (není tedy nutnost instalovat další bezdrátové technologie či GSM modemy s každým novým systémem na vozidle či vlaku).

V počátku realizace projektu ŽBPS v roce 2008 byla integrována v jediný koncept tři existující komunikační řešení. Vznikla tak jedinečná příležitost využít tohoto spojení i pro budoucí rozvoj, neboť je zřejmé, že s přibývajícím dobou budou požadavky na objemy komunikací a služby v komunikační síti narůstat, což potvrzuje i projekt InteGRail. Postupný rozvoj a rozšiřování stávající architektury ŽBPS o nové služby umožní dlouhodobě udržet celé komunikační řešení na rozumných finančních nákladech a benefitovat z implementovaných služeb a jejich sdílení všemi účastníky.

Síť ŽBPS v tuto chvíli poskytuje všem aplikacím transparentní datovou komunikaci postavenou na nejpoužívanějším komunikačním standardu – protokolu TCP/IP a funkční adresaci zařízení analogicky s projektem InteGRail. Projekt ŽBPS lze chápat jako základní kámen, který umožňuje implementaci nových požadavků od subjektů působících v prostředí železnice a dalších principů popsaných v projektu InteGRail.

V jediném technickém prostředí lze provozovat vedle sebe zařízení jednoduchá (na současné úrovni řešení ŽBPS) i vysoce sofistikovaná, která budou v budoucnu využívat nových inteligentních funkcí a služeb komunikačního systému ICOM (případně jeho nástupce po standardizaci). Je snazší řízeně rozvíjet jediné národní komunikační řešení železničních datových komunikací (dnešní ŽBPS), nežli v budoucnu rušit samostatná (často proprietární) komunikační řešení a tato nahrazovat budoucím integrovaným řešením. Takový postup by byl nejen finančně náročný, ale také provozně komplikovaný, možná i nereálný. Zanedbání systémových přístupů v počátcích řešení obvykle přináší mnoho zklamání a nákladů v budoucnu.

ŽBPS můžeme s ICOM porovnat ještě na úrovni sedmivrstvého referenčního modelu OSI. Architektura ICOM (konkrétně Middleware) zasahuje až do aplikační vrstvy referenčního modelu OSI, zatímco ŽBPS provádí integraci na nejnižších 3 vrstvách a dále nabízí funkci dynamického DNS zajišťující funkční adresaci v IP prostředí [10]. V ŽBPS je navržena zjednodušená funkce Network Selectoru (výběru sítě pro komunikaci s mobilním zařízením na principu výběru nejlepší sítě pro daný rozsah IP adres za komunikační jednotkou), vlastní komunikace pak bude vedena sestaveným tunelem přes vybranou přenosovou síť. ŽBPS v tuto chvíli neřeší handover (přepojení probíhající komunikace) napříč přenosovými sítěmi. Předpokládá se, že aplikace budou schopny přerušené spojení po přechodu mezi sítěmi znovu navázat poté, co komunikační terminál naváže nové spojení přes jinou přenosovou síť. V tuto chvíli však nejsou v rámci ŽBPS provozovány žádné komunikační jednotky, které by měly více rozhraní do přenosových sítí a proto funkce Network Selectoru není využita.

Realizované řešení ŽBPS již dnes nabízí mnoho inteligentních funkcí, které však nejsou dostatečně využity. Hlavním důvodem je absence komunikačních jednotek a zejména aplikací na mobilní straně. Kromě aplikace aktuální polohy kolejových vozidel, která je provozována na více než 150 komunikačních terminálech, je mobilní komunikace s vozidly intenzivněji využita pouze u elektrických jednotek řady 471 (City Elefant), kde je instalováno několik aplikací. V roce 2010 bylo představeno několik nových aplikací (například měření spotřeby trakční energie, elektronické jízdní řády, provozní deník), které mohou při své implementaci využít inteligentních funkcí ŽBPS.

Závěrem lze konstatovat, že ŽBPS je aktuálně jediná implementovaná komunikační platforma na železnici v ČR, která vychází z principů definovaných projektem InteGRail, je otevřená pro implementaci dalších zařízení, rozhraní i služeb a umožní kompatibilitu telematických aplikací při komunikaci se sítěmi zahraničních dopravních operátorů.

## 7. Definice a zkratky

APN	Access Point Name – slouží k identifikaci služby v GPRS síti
CAN	Controller Area Network - sériový komunikační protokol, který byl původně vyvinut firmou Bosch pro nasazení v automobilech
Consist	Consist je definován jako skupina vozů, které se nerozpojují během provozu a které sdílejí stejnou LAN
DNS	Domain Name System - hierarchický systém doménových jmen
ERTMS	European Rail Traffic Management System – Evropský systém řízení železničního provozu
ETCS	European Train Control System – Evropský vlakový zabezpečovač
GPRS	General Packet Radio Service - technologie 2,5 generace mobilních sítí určená pro přenos dat na bázi přepínání paketů
GSM	Global System for Mobile Communication
GSM-R	GSM for Railways - mobilní síť typu GSM určená výhradně pro potřeby železnice
InteGRail	Projekt Intelligent Integration of Railway Systems
ICOM	Intelligent Communication Framework
IP	Internet Protocol - datový protokol používaný pro přenos dat přes paketové sítě
LAN	Local Area Network - lokální síť
MCG	Mobile Communication Gateway





OSI	referenční model ISO/OSI vypracovala organizace ISO jako hlavní část snahy o standardizaci počítačových sítí nazvané OSI a v roce 1984 ho přijala jako mezinárodní normu ISO 7498
PAN	Personal Area Network, počítačová síť s dosahem jen několika metrů
QoS	Quality of Service – kvalita služby
RFC	Request for Comments (žádost o komentáře), používá se pro označení řady standardů a dalších dokumentů popisujících internetové protokoly
TCN	Train Communication Network (IEC61375)
TCP	Transmission Control Protocol – protokol poskytující transportní služby v IP sítích se spojením
TSI	Technické specifikace pro interoperabilitu
UIC	International Union of Railways – Mezinárodní svaz železnic
URI	Uniform Resource Identifier – jednotný identifikátor zdroje
VLAN	Virtual LAN
WiFi	Wireless Fidelity – technologie bezdrátové lokální sítě
WLAN	Wireless LAN

## 8. Literatura

- [1] Strategic Rail Research Agenda 2020. First Report of the European Rail Research Advisory Council. [online]. 2002 [cit. 2010-08-31].  
Dostupne z: [http://www.errac.org/IMG/pdf/ERRAC\\_SRRR\\_Official.pdf](http://www.errac.org/IMG/pdf/ERRAC_SRRR_Official.pdf)
- [2] InteGRail [online].2009 [cit. 2010-08-31].  
Dostupne z: <http://www.integrail.eu/documents/fs05.pdf/>
- [3] Nenutil, D.: InteGRail - Intelligent Integration of Railway Systems. Vědeckotechnický sborník ČD č. 25/2008, Generální ředitelství Českých drah, Praha, 2008, ISSN 1214-9047.
- [4] InteGRail IGR-T-CMM-044-03 D3D.5.3, Specification of Applicative Interfaces and Network Management Function.
- [5] InteGRail IGR-D-NOR-005-15, D3D.4.1 GSM-R Alternatives Study.
- [6] InteGRail IGR-D-ALS-046-12, Preliminary ICOM Specification.
- [7] InteGRail IGR-I-BTG-147-02, Train To Wayside Addressing.
- [8] InteGRail IGR-I-BTG-112-02, Train On board Addressing.



- [9] Žák, D.: Zajištění datové komunikace mezi drážními vozidly a infrastrukturou. Sborník 3. konference Moderní zabezpečovací, řídicí a telekomunikační technika na tratích ČR jako součásti evropského železničního systému, České Budějovice, 2007, str. 149-154.
- [10] Márovec, A., Žák, D.: Železniční bezdrátová přenosová síť. Vědeckotechnický sborník ČD č. 27/2009, Generální ředitelství Českých drah, Praha, 2009, ISSN 1214-9047, str. 26-43.

Pardubice, duben 2011

Lektoroval: Ing. Dobromil Nenutil  
UniControls a.s.