

Dobromil Nenutil<sup>1</sup>

## InteGRail - Intelligent Integration of Railway Systems

**Klíčová slova:** zvýšení výkonnosti, integrace železničních systémů, sémantické technologie, ontologie, inteligentní údržba, komunikační systém, 6. rámcový program



### Úvod

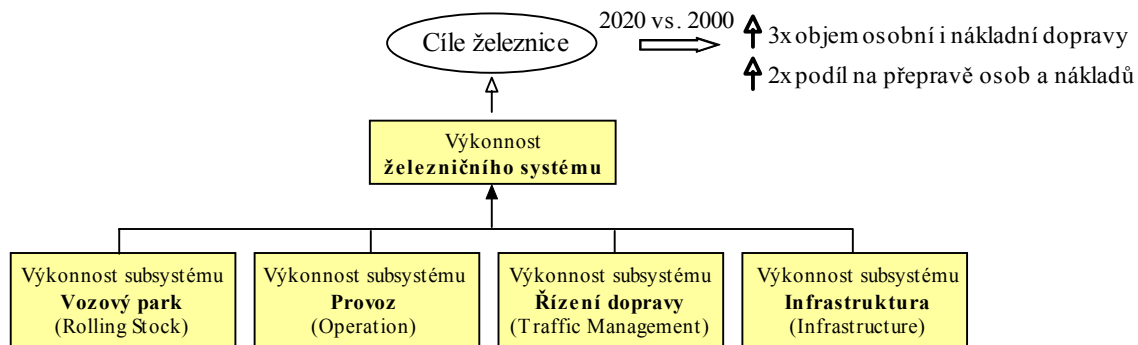
Splnění závazku Evropské unie snížit své plynné emise si vyžaduje mimo jiné upravit podíl jednotlivých druhů dopravy na celkovém objemu přepravy osob a nákladů ve prospěch těch druhů, které mají nejnižší dopad na životní prostředí. Požadované zvýšení podílu železniční dopravy vyjádřila Evropská poradní rada pro železniční výzkum (ERRAC) kvantitativně: do roku 2020 (ve srovnání s rokem 2000) zvýšit objem osobní i nákladní dopravy třikrát, dvakrát zvýšit podíl na přepravě osob i nákladů, což znamená přepravit 15% nákladů a 12% osob. Tohoto cíle by mělo být dosaženo při snížení nákladů a dopadu na životní prostředí a při zachování současné vysoké úrovně bezpečnosti ve srovnání s jinými druhy dopravy.

Podmínkou dosažení zmíněných cílů železniční dopravy je zvýšení její konkurenceschopnosti. Tohoto zvýšení nemůže být docíleno bez zajištění kompatibility vlastností infrastruktury a kolejových vozidel a účinného propojení informačních a komunikačních systémů různých provozovatelů infrastruktury a dopravců. Ke splnění těchto podmínek nutných pro zvýšení konkurenceschopnosti přispívá projekt 6. rámcového programu EU pro výzkum a vývoj InteGRail.

Projekt InteGRail se jako první projekt zaměřuje na železniční systém jako celek, na všechny jeho subsystémy. Integrací jednotlivých subsystémů – Vozový park, Provoz, Řízení dopravy, Infrastruktura - se zvýší jejich vlastní výkonnost, neboť mohou využívat informace z ostatních subsystémů, a zvýší se i výkonnost železničního systému jako celku (Obr. 1). Projekt si klade za cíl stanovit jednotný rámec pro takovou integraci.

---

<sup>1</sup> Dobromil Nenutil. Ing., 1950, ČVUT – Fakulta elektrotechnická v Praze, obor technická kybernetika, UniControls a.s., vedoucí technického rozvoje



Obr. 1: Integrací subsystémů ke zvýšení výkonnosti systému

Globální cíl projektu InteGRail lze formulovat takto:

Vyvinout koherentní informační systém integrující hlavní železniční subsystémy k dosažení vyšší úrovně koordinace a kooperace mezi klíčovými železničními procesy. Očekávanými přínosy jsou vyšší výkonnost železničního systému dosažená zvýšením kapacity, průměrné rychlosti a dodržením jízdního řádu, vyšší úroveň bezpečnosti a optimalizované využití zdrojů.

Projekt InteGRail je jednou z odpovědí železničního výzkumu na výzvu ERRAC. Jeho 40 účastníků reprezentuje všechny subjekty železničního světa – systémové integrátory, dodavatele subsystémů, dopravce, provozovatele infrastruktury, výzkumná pracoviště a univerzity. Koordinátorem projektu je UNIFE (Evropská asociace železničního průmyslu), za ČR se účastní České dráhy a UniControls a.s. Uvedme základní parametry projektu:

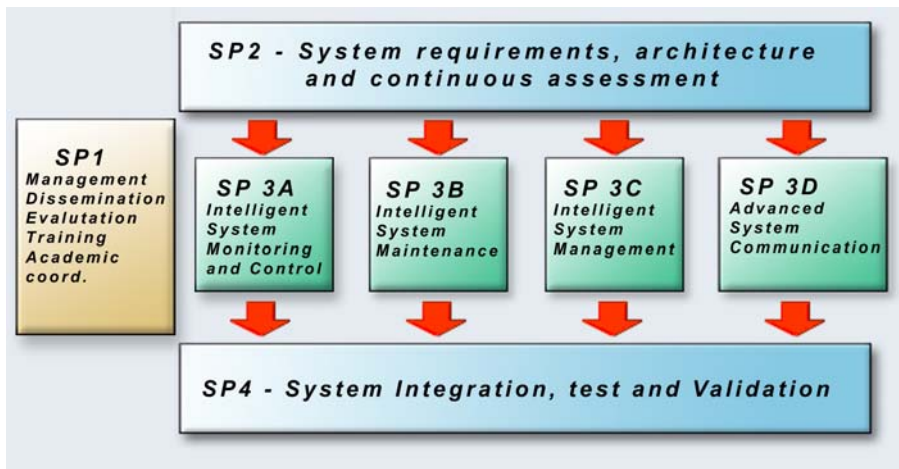
- Trvání: 48 měsíců (2005-2008)
- Partneři: 39 z 10 zemí EU, 1 z Chile
- Rozpočet: 20 mil. EUR
- Příspěvek EC: 11 mil. EUR
- Pracovní kapacita: více než 1500 člověkoměsíců

## Členění projektu

Interně je projekt členěn do 7 subprojektů (Obr. 2). Těžištěm jsou čtyři “výkonné” subprojekty SP3A až SP3D. Ty se vztahují ke čtyřem oblastem, které byly identifikovány jako ty, ve kterých je zejména žádoucí docílit zlepšení. Dalšího zlepšení lze pak dosáhnout jejich integrací. Tyto čtyři oblasti jsou:

1. Monitorování a řízení subsystémů vozidel a infrastruktury (SP3A) – zajistí, že všechna data jsou včas shromážděna a předána pro další zpracování.
2. Inteligentní údržba (SP3B) – ukládá a zpracovává data pro údržbu. Soustředí se zejména na detekci počínajících závad (incipient faults), na prognózu tj. na predikci následků závady komponenty nebo subsystému v provozu a na metodu údržby založenou na znalosti stavu (např. stupně opotřebení) komponent (Condition Based Maintenance).
3. Systémové řízení (SP3C) – soustředí se především na využití systémů pro podporu rozhodování v prostředí integrovaného železničního systému, tj. v prostředí, ve kterém mohou být nové informace získány kombinací informací z jednotlivých subsystémů.

4. Komunikační systém pro železnici (SP3D) – zajistí hladkou komunikaci mezi prvky (zařízení ve vlaku, vlaky, infrastruktura, depa, řídicí střediska) železničního systému a umožní integraci jednotlivých subsystémů.

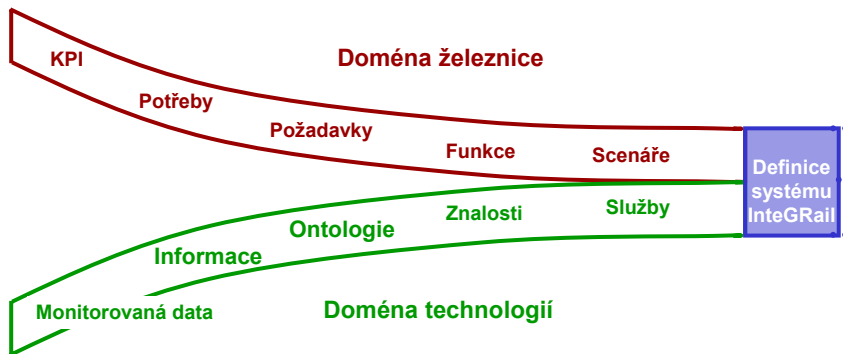


Obr. 2: Členění projektu InteGRail

Subprojekty SP2 a SP4 jsou společné pro jednotlivé procesy, zabývají se systémem jako celkem. V SP2 byly stanoveny požadavky na systém, specifikována jeho architektura, zde se také průběžně vyhodnocuje, zda výsledky řešení odpovídají stanoveným požadavkům a určují se metodologické postupy. Pro integraci a validaci systému byly specifikovány a jsou implementovány tři demonstrační scénáře. Tyto aktivity jsou alokovány do SP4. Dopravci a provozovatelé infrastruktury jsou zapojeni především v subprojektech SP2 a SP4, ve kterých mohou nejvíce uplatnit své znalosti a zkušenosti. České dráhy byly například zodpovědné za specifikaci požadavků uživatele.

## Metodologie

Důležitým předpokladem úspěšného řešení projektu s tak širokým záběrem jako je InteGRail je stanovení a dodržení metodologických postupů. Na jedné straně se projekt týká problémů železnice. Ty znají a mohou je analyzovat experti z této oblasti. Na druhé straně dosažení cílů projektu si vyžaduje použití nových technologií, jimiž se zabývá jiná skupina expertů, přičemž mnozí z nich problematiku železnice na počátku neznají. Obr. 3 naznačuje konvergenci aktivit obou skupin vedoucích k cíli – k definici systému InteGRail.

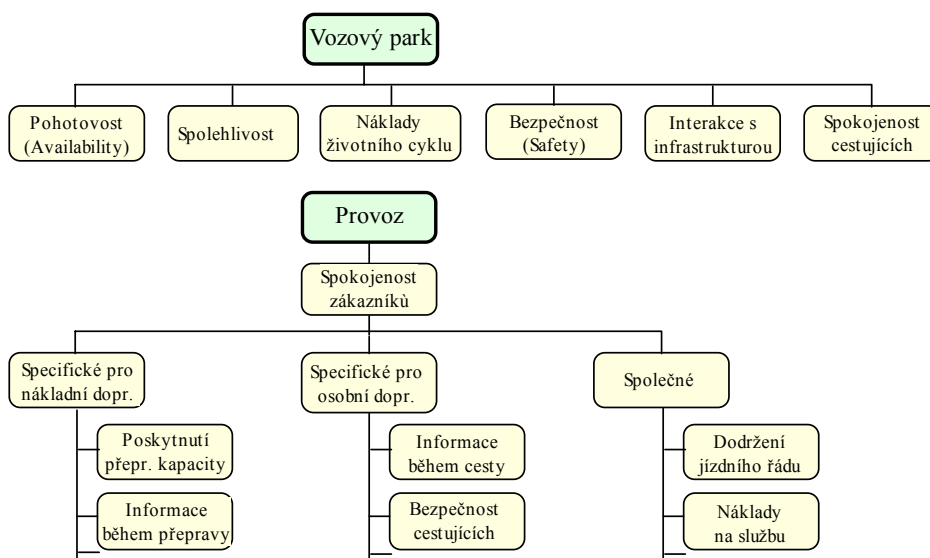


Obr. 3: Konvergenční proces aktivit expertů z oblastí železnice a informačních technologií

V první řadě byly stanoveny tzv. KPI (Key Performance Indicators), což jsou měřitelné indikátory, které jsou podstatné pro dosažení stanovených cílů. Pro každý železniční subsystém byl stanoven strom KPI a vztahy mezi KPI jednotlivých stromů. Příklady stromů KPI jsou uvedeny na Obr. 4.

Současně byly zmapovány potřeby dopravců, provozovatelů infrastruktury a výrobců železničních vozidel. Výsledkem zpracování KPI a potřeb železnice bylo stanovení požadavků na systém a specifikace jeho funkcí. Dále experti ze železniční domény vypracovali scénáře tj. specifikovali interakci mezi žadatelem o určitou službu a systémem, včetně interakcí probíhajících mezi jeho jednotlivými subsystémy při zajišťování této služby. Tři z těchto scénářů byly zvoleny pro demonstraci výsledků projektu.

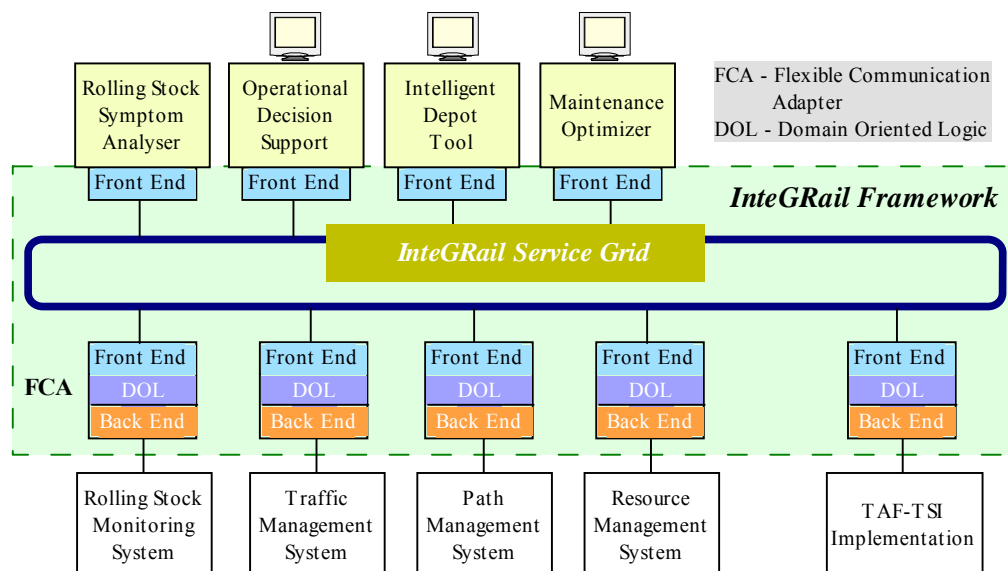
Souběžně experti z oblasti informačních technologií, kteří vstupovali do projektu s představou využití tzv. sémantických technologií, tj. technologií, které pracují s explicitně popsaným významem dat, si ujasňovali způsob jejich použití jak v jednotlivých železničních subsystémech, tak i při jejich integraci.



Obr. 4: Část stromu KPI pro subsystémy Vozový park a Provoz

## Architektura systému InteGRail

Navržená architektura systému InteGRail musí zajistit možnost výměny dat mezi jakýmkoliv elementy železničního systému. Těmito elementy mohou být systémy a subsystémy různé složitosti umístěné ve vozidle, dispečerském pracovišti, depu, apod.



Obr. 5: Architektura systému InteGRail

Pro splnění tohoto požadavku definuje architektura InteGRail, jak znázorňuje Obr. 5, dva základní prvky:

- 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

FCA sestává ze tří částí, které mohou být umístěny v různých počítačích:

- Domain Oriented Logic (DOL) – obsahuje datový model domény, kterou FCA připojuje. Např. připojuje-li FCA subsystém dveří ve vozidle, pak DOL obsahuje jeho datový model a aktuální data načtená ze subsystému, která se vztahují k tomuto modelu. DOL tedy obsahuje ta data, která chce element zpřístupnit ostatním ISG uzlům.
- Back End – získává data z reálného světa a ukládá je do modelu (přesněji do databáze, která obsahuje i příslušný model).
- Front End – zajišťuje přístup z ISG k datům v DOL.

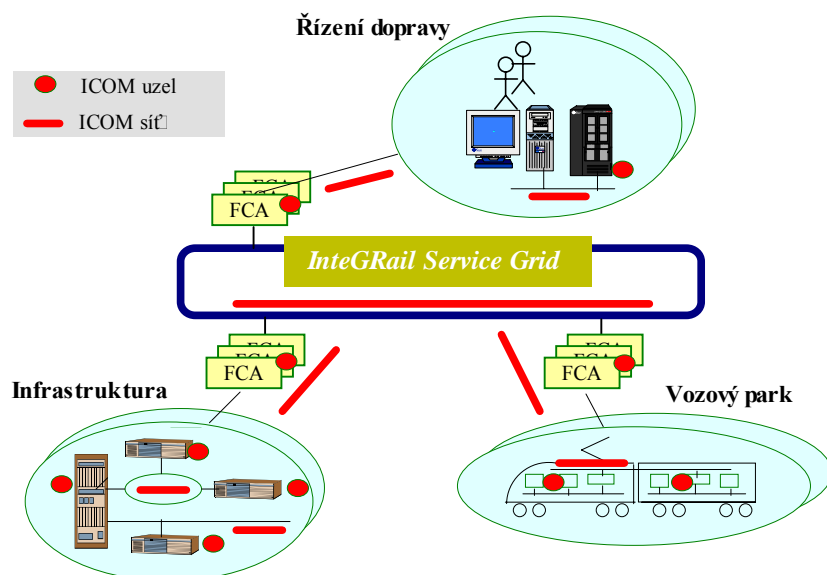
ISG spolu s FCA tvoří rámec (framework) pro integraci železničních subsystémů.

## ICOM – komunikační systém

Komunikační systém ICOM je integrovanou heterogenní sítí, to znamená že obsahuje komunikační sítě různých typů. Síť ve vozidlech (TCN, CAN), síť v dispečerských střediscích (TCP/IP), rádiové sítě (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.

Obr. 6 naznačuje, že služby InteGRail Service Grid používají služeb ICOM, a že např. v jednom ISG uzlu (připojen jedním FCA adaptérem) může být řada ICOM sítí s mnoha ICOM uzly.



Obr. 6: Komunikační systém ICOM

Důležitou vlastností komunikačních služeb ICOM je možnost specifikace jejich chování zadáním hodnot parametrů označovaných jako QoS (Quality of Service) parametry. Jako příklad QoS parametru uveďme parametr *minimum\_separation*, který může například zadat konzument procesních dat některého subsystému na vozidle. Parametr má tento význam: konzument dat nechce dostávat hodnotu častěji než jednou za čas *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 vyžadující přenos velkého objemu dat.

## Ontologie

Integrovat současné železniční informační systémy s použitím stávajících ICT technologií je poměrně složité. Musí být definována specifická rozhraní a vyměňovaná data je obvykle třeba konvertovat, neboť každý systém mívá pro data svůj vlastní formát.

Projekt InteGRail se zaměřil na nové technologie, které na rozdíl od stávajících ICT technologií umožňují zajistit interoperabilitu jednodušeji a na vyšší úrovni. Zatímco stávající technologie zajistí interoperabilitu, kterou můžeme nazvat technickou (úroveň komunikačních protokolů) a syntaktickou (dohodnut stejný formát dat), mohou nové tzv. **sémantické technologie** zajistit sémantickou interoperabilitu, při které spolupracující systémy sdílejí význam dat. Zatímco při syntaktické interoperabilitě je význam přenášených dat nanejvýš popsán v komentáři připojeném

ke specifikaci jejich struktury, je nutné pro zajištění sémantické interoperability popsat význam dat explicitně. Datový model, který popisuje třídy objektů modelované domény tj. části reálného světa, která nás zajímá, vlastnosti těchto objektů a vztahy mezi nimi se nazývá **ontologie**. Ontologie tedy zachycuje znalosti v dané doméně.

Ontologie jsou obvykle vyjádřeny v jazyce založeném na logice, to znamená, že vlastnosti ontologie jsou přesně definovány. U typu ontologie použité v projektu, je možné provádět odvozování. Obdobně jako v logice, kdy z premisy odvozujeme další tvrzení, může systém z existujících informací odvodit informace, které do něj nebyly explicitně vloženy.

Uvedme pro představu následující triviální příklad:

Mějme ontologii s třídami Řidič, Řidič\_autobusu, Autobus a Vozidlo:

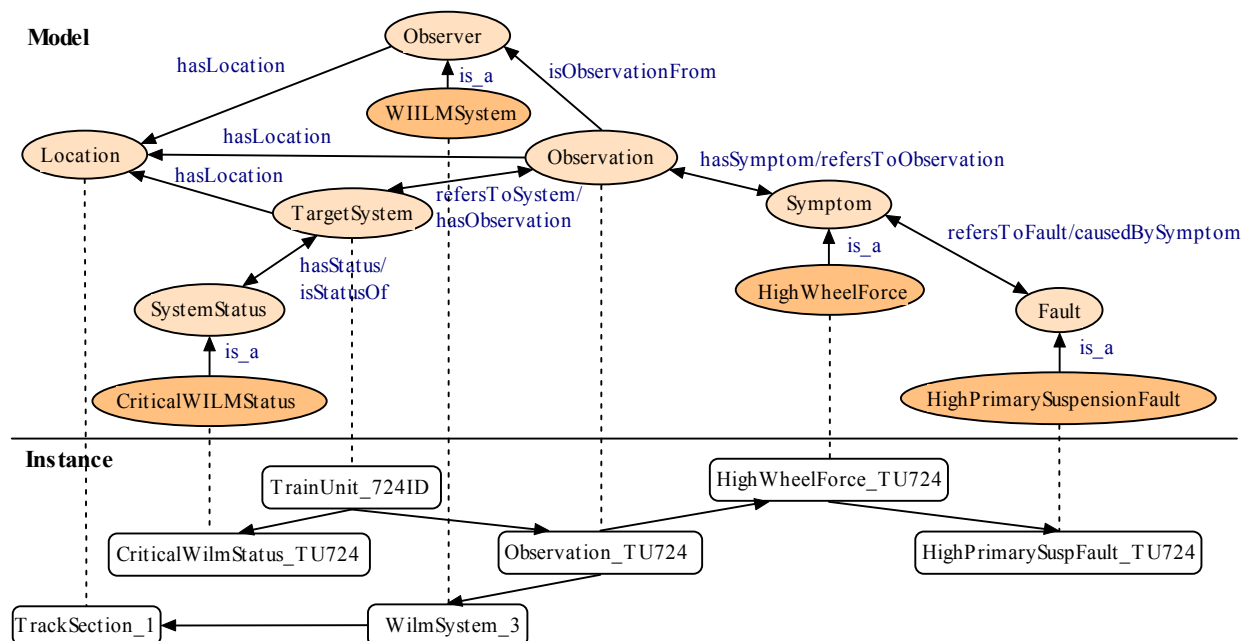
- Řidič řídí Vozidlo
- Řidič\_autobusu řídí Autobus
- Autobus je Vozidlo

a s fakty

- Petr je Řidič
- Pavel je Řidič\_autobusu

Na dotaz “Dej mi všechny řidiče (všechny, kteří patří do třídy Řidič)” odpoví systém “Petr, Pavel”, přestože informace “Pavel je Řidič” do systému vložena nebyla. Systém sám odvodil, že “Řidič\_autobusu řídí Vozidlo, čili je Řidič”.

V projektu byly vytvořeny ontologie pro řadu domén. Ty by se měly stát součástí plánované ontologie celého železničního systému. Pro řešení typických případů byly vytvořeny vzory (patterns), které budou k dispozici v knihovně vzorů. Zjednodušený vzor pro měření a jeho použití při měření dynamického vlivu hmotnosti na nápravu (WILM – Wheel Impact Load Measurement) měřicím zařízením umístěným na trati je uveden na Obr. 7.



Obr. 7: Vzor ontologie pro měření

Vzor můžeme popsat asi takto: Pozorování (Observation) se vztahuje k systému (TargetSystem), kterým může být např. vlak nebo objekt infrastruktury, je prováděno



pozorovatelem (Observer), kterým může být člověk nebo měřicí systém, výsledkem pozorování může být nějaký symptom (Symptom), z něhož je možno usuzovat na určitou závadu/závady (Fault). Pro měření hmotnosti na nápravu byly definovány podtřídy, které jsou v relaci s příslušnou třídou. Tato relace vyjadřuje, že každý prvek (instance) podtřídy je současně i prvkem nadřazené třídy. Zavedli jsme tedy např. podtřídu WILMSystem třídy Observer, která obsahuje systémy pro měření hmotnosti na nápravu.

Ontologie, jak je znázorněno na obrázku, se skládá ze dvou částí. První část obsahuje vlastní model, druhá obsahuje instance (prvky) a tzv. fakta, tj. tvrzení o těchto instancích. Obrázek zachycuje konkrétní měření Observation\_TU724, prováděné měřicím systémem WilmSystem\_3 umístěným na úseku trati TrackSection\_1. Měřena byla jednotka číslo 724, byla zjištěna příliš vysoká hmotnost na nápravu, což mohlo být způsobeno vadou vypružení nápravy. Toto je považováno za kritickou situaci, která je dána na vědomí ve stavu vlaku – instance CriticalWILMStatus\_TU724 je vložena do třídy CriticalWILMStatus.

Je důležité poznamenat, že při odvozování se pracuje s oběma částmi ontologie.

Ontologii můžeme zadat dotazy, obdobně jako zadáváme SQL dotazy relační databázi. Ontologii dle Obr. 7 je možné zadat například tento dotaz:

*Dej mi všechny vlaky, které mají stav CriticalWILMStatus a které byly měřeny WILM systémy umístěnými v úseku trati TrackSection\_1.*

Řekneme-li, že namísto termínu *třída* se častěji používá termín *koncept*, můžeme porozumět jedné z definic ontologie, která zní: Ontologie je konceptualizace světa.

Výhody použití ontologií můžeme shrnout do následujících bodů:

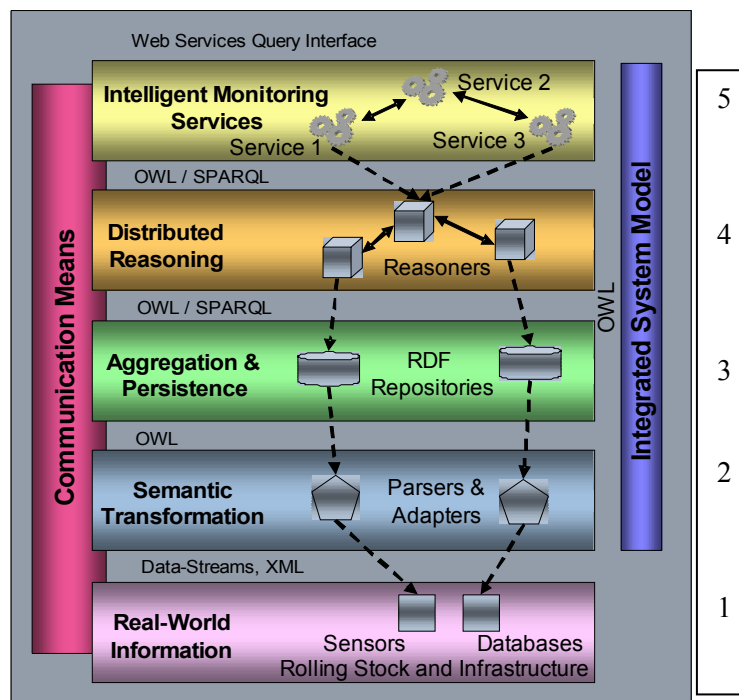
- jsou pochopitelné lidmi a zpracovatelné stroji
- poskytují jednoznačnou specifikaci sdílených konceptů, tj. všichni, kteří ontologii používají, interpretují data shodně
- složité modely lze vytvářet modulárně a inkrementálně
- jsou snadno rozšiřitelné
- Je k dispozici softwarová komponenta, přes kterou přistupují k ontologii aplikace. Tato komponenta, pro kterou je používán termín *Reasoner*, zajišťuje:
  - automatickou kompletaci systémového modulu – při vytváření ontologie obvykle nejsou zadány všechny relace podtřída – třída, ty *Reasoner* odvodí a doplní do modelu
  - kontrolu konzistence během vývoje ontologie
  - odvozování
  - odpovědi na dotazy

Vrátíme-li se k architektuře systému InteGRail, je ontologie příslušející doméně (tj. systému, subsystému) připojované k InteGRail Service Grid obsažena v komponentě DOL (Domain Oriented Logic) adaptéru FCA. Pro ostatní ISG uzly sítě je tedy tento sémantický model tvořený třídami a jejich instancemi reprezentantem připojené domény. Data z modelu získávají ISG uzly zadáním dotazů ve standardizovaném dotazovacím jazyku (jazyk SPARQL). Tyto dotazy předávají službě ISG, která jim také vrátí odpověď – opět ve standardizovaném tvaru. K ontologiím všech ISG uzlů se tedy přistupuje jednotným způsobem. Princip sémantické integrace spočívá ve



vytvoření ontologických modelů integrujících se systémů a zajištění jednotného přístupu k nim.

Obecně lze jedním dotazem získat informace z více než jednoho modelu. Dotaz je rozdělen na dotazy do jednotlivých modelů a odpovědi na ně jsou složeny do výsledné odpovědi. Toto je úkolem kooperující sítě specializovaných softwarových elementů tzv. agentů.



Obr. 8: Vertikální řez systémem InteGRail

Na Obr. 8, který znázorňuje vertikální řez systémem InteGRail, jsou tyto agenti alokováni v nejvyšší vrstvě. Vrstva 4 obsahuje komponenty *Reasoner*, které pracují s ontologiemi uložené ve vrstvě 3. Data z reálných systémů/subsystémů jsou získávána ve vrstvě 1, adaptory vrstvy 2 transformována do jednotného formátu a uložena do ontologií ve vrstvě 3. Rozhraní mezi jednotlivými vrstvami jsou standardní.

## Demonstrační scénáře

Bylo rozhodnuto, že pro předvedení výsledků projektu budou definovány tři demonstrační scénáře. Jejich cílem bude prokázat, že:

- systém implementovaný dle navržené architektury je funkční
- navržená funkcionalita systému byla implementována
- výkonnost železničního systému může být zvýšena použitím nových informačních funkcí systému

Demonstrační scénář DS3 byl rozdělen na dva paralelní scénáře, kompletnější italský DS3-IT a jednodušší český DS3-CZ. Scénář DS3-CZ je realizován ČD, a.s. a UniControls a.s. a využívá vozidla a zařízení ČD, a.s.

### ***Demonstrační scénář DS1***

DS1 se týká plánování jízdy a vlastní jízdy nákladního vlaku mezi dvěma evropskými zeměmi (Nizozemí – Belgie). Scénář zahrnuje plánování trasy, optimalizaci jízdního řádu, vyhodnocení stavu infrastruktury, reakci na plánovanou a neplánovanou dostupnost objektů infrastruktury nebo na jejich degradaci.

### ***Demonstrační scénář DS2***

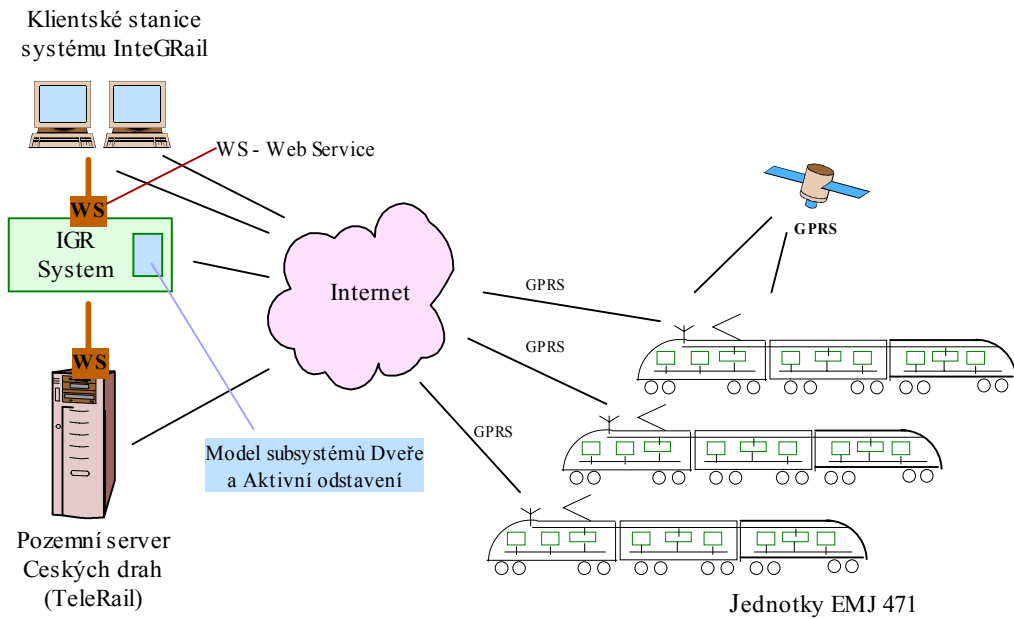
DS2, který má být realizován ve Velké Británii má za cíl ukázat integraci stávajících informačních systémů, jako jsou měřicí systémy hmotnosti na nápravu a horkoběžnosti kol do systému InteGRail. Demonstruje interakci mezi provozovatelem infrastruktury a dopravcem na základě výsledků měření. Část ontologie použitá v tomto scénáři je uvedena na Obr. 7.

### ***Demonstrační scénář DS3***

DS3 demonstruje podporu rozhodování v případě zjištění potenciální a skutečné závady na osobním vlaku v normálním provozu. Pro italskou demonstraci DS3-IT je použit vlak ES\*City provozovaný Trenitalia. Vlak sestává ze dvou lokomotiv E414 (Bombardier) a až z deseti osobních vozů mezi nimi.

### ***Demonstrační scénář DS3-CZ***

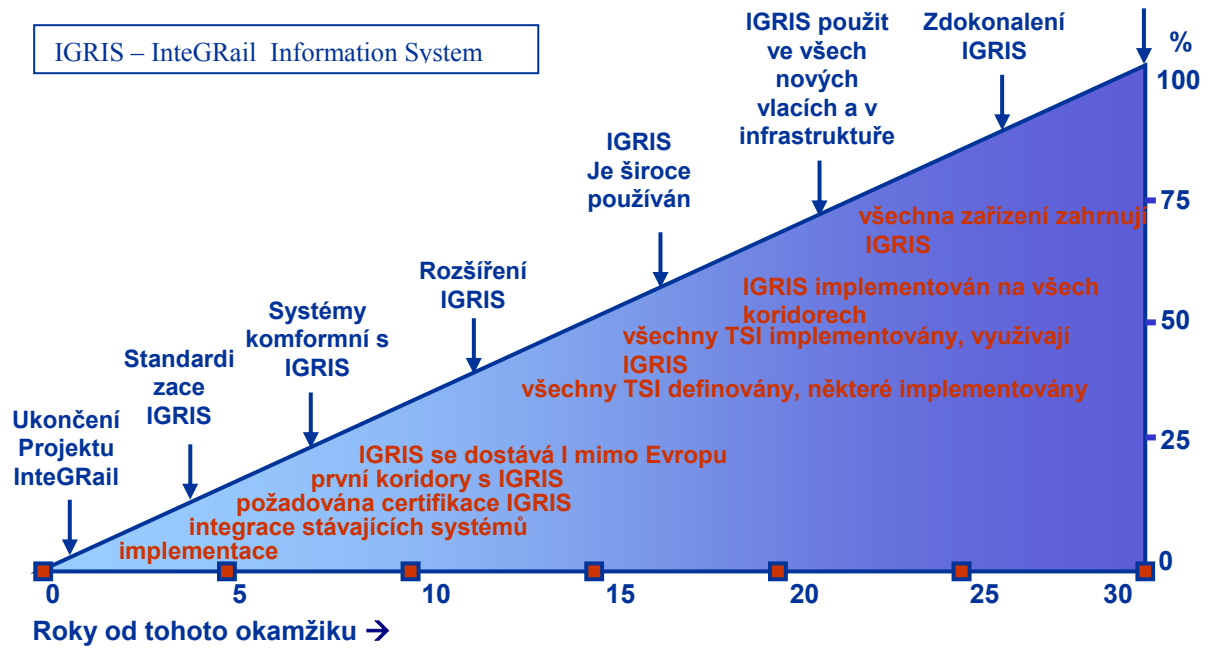
Scénář DS3-CZ demonstruje použití kompletní architektury InteGRail pro sledování vybraných subsystémů jednotek EMJ 471. Na rozdíl od DS3, pro který je k dispozici jediný vlak, počítá DS3-CZ se všemi jednotkami vybavenými telediagnostickým systémem TeleRail. Pozemní server Českých drah shromažďující ve své databázi data z jednotek EMJ 471 představuje vrstvu 1 dle Obr. 8. Box, který je na Obr. 9 označen IGR System zahrnuje vrstvy 2 až 5 a obsahuje ontologii vytvořenou pro subsystémy Dveře a Aktivní odstavení. Klientské stanice komunikují s IGR systémem prostřednictvím Webových služeb, stejně jako IGR Systém s pozemním serverem ČD. IGR Systém běží na dvou serverech umístěných na univerzitě Gent (Belgie).



Obr. 9: Prostředky použité v demonstračním scénáři DS3-CZ

## Závěr

Projekt InteGRail je unikátní příležitostí poskytnout železnicím mocný nástroj k vytvoření integrovaného informačního systému, který jim umožní dosáhnout vyšší výkonnosti a napomůže ve splnění požadavků EU na zajištění interoperability. Hlavním úkolem je nyní přesvědčit železnice, že směr, který InteGRail udal je ten, který mají následovat. To znamená že je třeba přesvědčivě demonstrovat použitelnost výsledků projektu a jejich přínos. Podaří-li se to, může být budoucnost výsledků projektu taková, jakou uvádí Obr. 10.



Obr. 10: Vize využití výsledků projektu InteGRail

## Literatura

- [1] Interní dokumenty projektu InteGRail
- [2] Introducing Semantic Technologies and the Vision of the Semantic Web, SCoP, White Paper, 2005
- [3] OWL Web Ontology Language Guide, W3C Recommendation, 2004
- [4] SPARQL Query Language for RDF, W3C Recommendation, 2008

Praha, duben 2008

Lektorský posudek: Mgr. Miriam Pavloušková  
O26 GŘ ČD