

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Czech Technical University of Prague, Faculty of Transportation Sciences

Ing. Tomáš Zelinka, CSc.

Nová komunikační řešení pro dopravní telematiku a volba komunikačního řešení kvantifikovaného telematickými performačními indikátory.

New communications solutions for transport telematics and selection of communications solution quantified by telematic performance indicators

## Summary:

Basic principles of Intelligent Transport Systems (ITS) modules decomposition and modification of communications performance indicators definition to achieve their compatibility with the telematics performance indicators are presented. Consequently there is introduced identification method of requirements on the telecommunication solution, which is an integral part of the telematic subsystem of the ITS (Intelligent Transport System). If the requirements of ITS system are quantified by telematic performance indicators, this method offers solution in identification of relations between telematic and communications performance indicators. Correctly recognized decomposed ITS subsystem – particularly the telematic chain - with the precisely defined interfaces represents the basis for the selection and the configuration of the relevant communication solution. The mobility of the communication solution access part represents the crucial requirement, combined with specific request on quality, reliability and security of the communication part, as well as the internal and external systems elements communications interoperability. L3/L2 switching combined with wireless mobile WiMax access communication solution is identified as appropriate communication alternative for the “typical” telematic chain, specifically if L2 is represented by the “Ethernet” based network. In our case is the “typical” telematic solution represented by the communication chain of the “Monitoring of moving object on airport area” project solution. This pilot project is a part of grant 802/210/112 "Joining of the Czech Republic into Galileo project" supported by the Ministry of Transport of the Czech Republic.

## Shrnutí:

Je diskutována možnost využití základních principů dekompozice inteligentních dopravních systémů a modifikace definic komunikačních performačních identifikátorů s cílem dosažení kompatibility s definicemi z oblasti telematiky. Následně je předložena metodika, která má za cíl umožnit identifikaci parametrů telekomunikačního řešení, které je integrovanou součástí telematického řetězce inteligentního dopravního systému. Jestliže jsou požadavky na telekomunikační řešení kvantifikovány telematickými performačními identifikátory, metoda nabízí řešení v identifikaci vazeb mezi indikátory telematickými a telekomunikačními. Korektně identifikovaný dekomponovaný inteligentní dopravní systém – jmenovitě jeho telematický řetězec – s přesně definovaným rozhraním reprezentuje základ pro výběr a konfiguraci příslušného telekomunikačního řešení. Mobilita přístupového řešení představuje kritickou podmínku kombinovanou se specifickými kritickými požadavky na kvalitu, spolehlivost a bezpečnost komunikační části řetězce, stejně jako i na příslušnou vnitřní a vnější interoperabilitu jednotlivých systémových prvků. L3/L2 spínání, kde vrstva L2 je realizovaná s využitím standardů „Ethernet“, kombinované s bezdrátovým přístupovým řešením Mobile WiMax je předloženou metodou vyhodnoceno jako vhodné komunikační řešení pro „typickou“ telematickou aplikaci, která je v našem případě reprezentována komunikačním řešením pro „Monitorování pohybujících se objektů po ploše letiště“. Tento pilotní projekt je součástí grantu MD 802/210/112, který je součástí projektu „Připojení České republiky do projektu Galileo“.

Klíčová slova: Inteligentní dopravní systém, systémová dekompozice, komunikační performační identifikátor, telematický performační identifikátor, spolehlivost, interoperabilita, bezpečnost, konvergence komunikačních sítí.

Key words: Intelligent transport system, system decomposition, communications performance indicator, telematic performance indicator, reliability, interoperability, security, communications system convergence.

---

České vysoké učení technické v Praze

Název: Nová komunikační řešení pro dopravní telematiku a volba komunikačního řešení kvantifikovaného telematickými performačními indikátory

Autor: Ing. Tomáš Zelinka, CSc.

Počet stran:

Náklad: 150 výtisků

© Tomas Zelinka, 2006

ISBN 80-01 .....

## Obsah

1	Úvod .....	6
2	Performační indikátory .....	8
2.1	Sledované performační indikátory telematických systémů: .....	8
2.2	Vlastnosti přenosových systémů: .....	9
2.2.1	Charakteristiky rozhraní .....	9
2.2.2	Objemové charakteristiky .....	9
2.2.3	Performační indikátory přenosových systémů .....	9
2.2.4	Třídy služeb .....	10
3	Vazba mezi telematickými a komunikačními performačními indikátory....	10
4	Základní pojmy a kritéria volby komunikačního řešení .....	11
4.1	Obecná pravidla návrhu .....	12
4.2	Rodina standardů CALM v ITS systémech.....	16
4.3	Bezdrátové řešení .....	17
4.4	IP VPN řešení .....	17
4.4.1	L2 VPN.....	17
4.5	MPLS VPN.....	18
5	Závěr .....	20

# 1 Úvod

Význam telematiky spočívá v efektivní synergii telekomunikačních technologií a informatiky za podpory manažerské ekonomiky a matematických metod tvorby a řízení systémů zmíněných oborů. Uživatelská oblast telematiky je širokospektrální - od personálních komunikací až po využití v řízení globálních síťových odvětví mezi které nepochybně patří i doprava. Znalostní společnost potřebuje pro svůj rozvoj efektivní nástroje telematiky, které vytváří inteligentní prostředí a na bázi získaných informací umožňuje stanovovat znalostní popisy složitých systémů. Telematika je tedy systémově inženýrský obor, který se zabývá tvorbou a účelným využitím informačního prostředí pro kompenzace rušivých vlivů tak, aby byly zachovány žádoucí stavy požadovaných silných procesů dle definovaných kritérií, kterými mohou být veličiny, jako je např. bezpečnost, komfort, stejně jako i ekonomická kritéria.

Metodika návrhu telematických systémů vychází z modulární koncepce, identifikace vzájemných systémových rozhraní jednotlivých modulů, využití jednotlivých datových protokolů a stanovení kvalitativních a kvantitativních parametrů přenosu informace pro danou architekturu telematického subsystému. Metodika řeší i vnější i vnitřní interoperabilitu telematických subsystémů a optimalizaci požadavků na technická řešení jednotlivých prvků telematického řetězce.

Typickou úlohou telematického subsystému je sledování pohybu objektů a to je právě problematika, která bude dále diskutována. Tato úloha vede k velmi různorodému spektru přístupů a řešení. Podle typu aplikace je k dispozici nejen více lokačních metod lišících se fyzikálním principem, přesností a spolehlivostí, ale významným kritériem je i např. velikost a typ prostoru, který má být telematickou službou pokryt z hlediska jeho vlivu na lokalizační a komunikační metody.

Tato práce vychází mj. z dílčích výsledků projektu Monitorování a řízení pohybu objektů po ploše letiště pomocí GNSS (Grant MDS 802/210/112) v rámci účasti České republiky v projektu GALILEO. Tento projekt je použit ve výkladu jako pilotní referenční aplikace. Jedná se úlohu, kterou je možno z více úhlů pohledu na požadavky garantovaných parametrů považovat za extrémní. Je tomu tak nejen u nároků na vlastní lokalizaci, ale především v případě parametrů kladených na komunikační řešení. Komunikační systém s ohledem na zadání předpokládá mobilní přístupové komunikační řešení se specifickými systémovými parametry a v tomto případě je přiměřený i požadavek využití několika typů přístupových technologií v režimu „rozšířeného“ chápání buňkového přepínání. Parametry fixní sítě musí zajistit jak vlastní komunikaci mezi aktivní buňkou a serverem, tak komunikaci mezi jednotlivými buňkami, tj. základnovými stanicemi případně i více aplikovaných přístupových technologií.

Řešení volby příslušné cesty dle nastavených kritérií vychází v této době vznikajících standardů CALM, tj. ISO TC204, WG 16.1 a ETSI ERM TG37.

Výhodou pilotního projektu jako reference předkládané metodiky není jen deklarovaná obecná náročnost velmi striktně regulovaného prostředí, ale i jasně formulované oborové standardy a další vnitřní předpisy, které jednotlivé požadavky transparentně kvantifikují.

Jedním z kritických bodů systémového konceptu telematického řešení je obecně, stejně jako i v pilotním projektu zcela konkrétně, volba odpovídajícího komunikačního řešení a to jak z hlediska přenosového protokolu, tak z hlediska kombinace bezdrátové i terestrické komunikační služby a jejích parametrů.

Volba komunikačního řešení vychází ze skutečnosti, že IP protokol nezadržitelně vstoupil do systémů řízení v reálném čase. IP protokol je aplikovaný nad vrstvou L2, tj. vrstvou síťového rozhraní dle TCP/IP modelu, kde dominuje zejména na lokální úrovni rodina protokolů „Ethernet“ (IEEE Std. 802.3, 802.1d a q). Díky dynamickému rozvoji vlastností protokolu „Ethernet“ je možno konstatovat, že se tento protokol ve stále větší míře aplikuje nejen na úrovni místní sítě, ale i v řešení rozlehlých řešeních WAN (Wide Area Network). Zcela evidentní výhody univerzální interoperability IP prostředí je ale nutno vyvážit kombinací nástrojů pro dosažení odpovídajících parametrů kvality a bezpečnosti komunikační služby. Tyto nástroje se v mnohých případech realizují mimo IP a TCP vrstvy TCP/IP modelu a to zejména na vrstvě síťového rozhraní L2 anebo na aplikační vrstvě. Tento přístup není v žádném případě v rozporu se základní myšlenkou protokolu IP, protože i původní autoři IP protokolu právě tento přístup předpokládali.

Pro stanovení metodiky návrhu hybridního subsystému vycházíme z definice telematických performačních indikátorů systémů a modifikované definice performačních indikátorů komunikačního řešení, které reflektují fakt, že je komunikační subsystém integrální součástí telematického řetězce. Nově koncipované definice komunikačních parametrů reflektují potřebu maximální možné kompatibility s telematickými indikátory.

Propojením telematických a telekomunikačních performačních indikátorů se vytváří předpoklad pro zhodnocení vlivu komunikačního řešení na výsledné performační indikátory telematického subsystému. Vlastní propojení umožníme mj. i sjednocením definiční pravděpodobnostní hladiny jednotlivých parametrů a vyjádřením performačních parametrů, pokud je možné, časovou veličinou. Metodika vychází ze stanovení maximální hodnoty času přenosu signálu kritickou přenosovou cestou na dané hladině pravděpodobnosti, která charakterizuje konkrétní komunikační řešení v dané telematické aplikaci a umožňuje kvantifikaci jejího dopadu na výsledné performační indikátory celého telematického řetězce.

Předložená metoda tedy představuje nástroj výběru vhodného komunikačního řešení z dostupných alternativ pro řešení telematického řetězce kvantifikovaného telematickými performačními indikátory a její možnosti jsou demonstrovány na procesech aplikovaných v uvedeném pilotním projektu monitorování pohybu objektů po ploše letiště.

## 2 Performační indikátory

Pomocí performačních indikátorů je možno definovat požadavky na telematickou aplikaci [1], [2] a [3]. Dále uvedeme stručný výčet performačních indikátorů užívaných v dopravní telematice. U každého telematického indikátoru jsou uvedeny hodnoty, které byly stanoveny pro uvedenou aplikaci sledování pohybu po letištní ploše [4]. Tento projekt představuje v řadě parametrů limitní případ, který je však realizován jen na omezeném, nikoliv však malém a navíc velmi členitém, obsluhovaném prostoru. Ve většině aplikací jsou požadavky v řadě parametrů obvykle méně náročné. V některých aplikacích parametry typu spolehlivost a dostupnost, tj. např. při sledování nebezpečných nákladů, mohou ale mít některé z parametrů srovnatelnou hodnotu a přitom je daná služba požadována na podstatně rozsáhlejším území, než je diskutovaná plocha letiště.

### 2.1 Sledované performační indikátory telematických systémů:

***přesnost*** - stupeň shody mezi měřenou a definovanou hodnotou parametru/procesu/funkce - tj. rozdíl měřené a požadované hodnoty nepřesáhne stanovenou hodnotu na dané hladině pravděpodobnosti. Pro danou aplikaci přesnost polohové informace musí být lepší než 7,5m na hladině pravděpodobnosti 99,9%,

***spolehlivost*** - schopnost systému plnit požadované funkce bez přerušení v definovaném časovém intervalu - požadavek aplikace je 99% spolehlivost systému na hladině pravděpodobnosti 99% v časovém intervalu 1 hodina,

***dostupnost*** - schopnost systému plnit požadované funkce po iniciaci systému/procesu dle daného postupu do časového limitu na určité hladině pravděpodobnosti - v diskutované aplikaci služba dostupná do 30 sekund na hladině pravděpodobnosti 99%,

***kontinuita*** - schopnost systému plnit požadované funkce/procesy bez neplánovaného přerušení (výpadku) na dané hladině pravděpodobnosti. V pilotním případě - maximální délka výpadku služby je 5 sekund na hladině pravděpodobnosti 99% v časovém intervalu 3 minuty,

***integrita*** - schopnost systému včas diagnostikovat překročení předdefinovaných parametrů a za požadovaný časový interval na dané hladině pravděpodobnosti o této skutečnosti informovat uživatele/řídící systém. V případě lokalizačních funkcí projektu letiště je požadavek, aby na hladině pravděpodobnosti 99% byl



uživatel/řídící systém informován do 5 sekund, pokud přesnost určení polohy překročí hranici 10m,

**bezpečnost** - schopnost systému zajistit, že v případě vzniku poruchy, nedojde k poškození systému nebo k materiálním ztrátám či ztrátám na lidském životě. Ohrožením jsou např. externě vysílané falešné signály/informace za účelem generování nesprávné informace příslušným senzorem.

## **2.2 Vlastnosti přenosových systémů:**

### **2.2.1 Charakteristiky rozhraní**

fyzické vrstvy jsou (i) přenosová rychlost, (ii) mód (duplex/half duplex/simplex), (iii) MAC (Media Access Layer) a (iv) PHY (Physical Layer).

### **2.2.2 Objemové charakteristiky**

*platicí odděleně pro UNI (User Network Interface) a VC (Virtual connection) - "tunel" dvou (P2P) anebo více (MP2MP) propojených koncových bodů v rámci sítě.*

### **2.2.3 Performanční indikátory přenosových systémů**

#### **2.2.3.1 Dostupnost**

- *aktivační doba služby (ServiceActivation Time - SAT)* – doba potřebná pro aktivaci/modifikaci parametrů služby na dané hladině pravděpodobnosti,
- *doba obnovení služby (Mean Time to Restore - MTTR)* - doba potřebná pro obnovení plné funkcionality služby na dané hladině pravděpodobnosti,
- *dostupnost virtuálního okruhu (VC Availability)* - doba korektně poskytované služby v daném časovém období na dané hladině pravděpodobnosti,

#### **2.2.3.2 Zpoždění**

- čas potřebný k přenesení informace (UNI2UNI/E2E) v daném období na dané hladině pravděpodobnosti. Zpoždění má akumulaci vlastnost a je mj. ovlivněno (i) přenosovou rychlostí rozhraní, (ii) velikostí paketu/rámce/buňky a (iii) výkonností každého z uzlů, kterými spojení prochází a jejich okamžitým zatížením.

#### **2.2.3.3 Rozptyl zpoždění (Jitter)**

– časový limit rozptylu dodání v daném časovém úseku na dané hladině pravděpodobnosti.

### 2.2.3.4 Ztráta paketů

- procentuální poměr nedodaných paketů/rámců z celkového počtu odeslaných v daném časovém intervalu na dané hladině pravděpodobnosti.

### 2.2.3.5 Bezpečnost

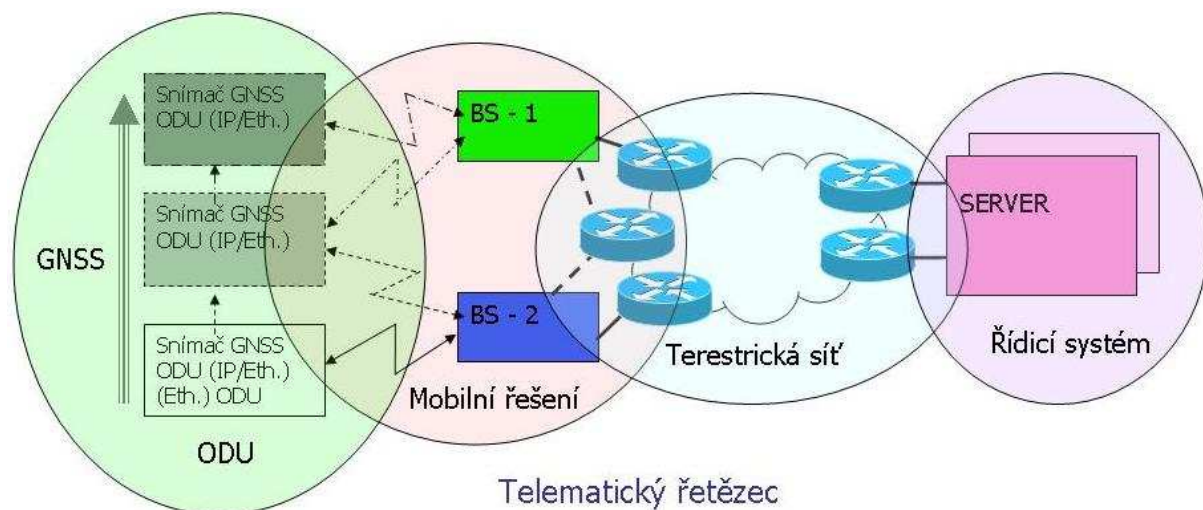
schopnost systému zajistit, že v případě vnějšího napadení systému nedojde k poškození funkce. Pro kvantifikaci je nezbytná zejména analýza rizik (Risk Analysis) postavená na detailní znalosti systému a znalosti možných rizik. Bezpečnost může být narušena v libovolném článku komunikačního řetězce.

### 2.2.4 Třídy služeb

*Class of Service (CoS)* – je nástroj zjednodušení orientace v širokém portfoliu vlastností nabízených alternativ. Služby jsou rozčleněny do skupin/tříd s vymezením hranic jednotlivých parametrů a s identifikací podle (i) fyzického rozhraní, (ii) skupiny adres, (iii) identifikátorů virtuálního LANu - VLAN ID (Virtual Local Area Network Ident.), (iv) parametru priority dle IEEE 802.1p, příp. v rámci ATM hlavičky, (v) identifikátoru v rámci hlavičky IP Diffserv/IP ToS (součást IP hlavičky).

## 3 Vazba mezi telematickými a komunikačními performačními indikátory

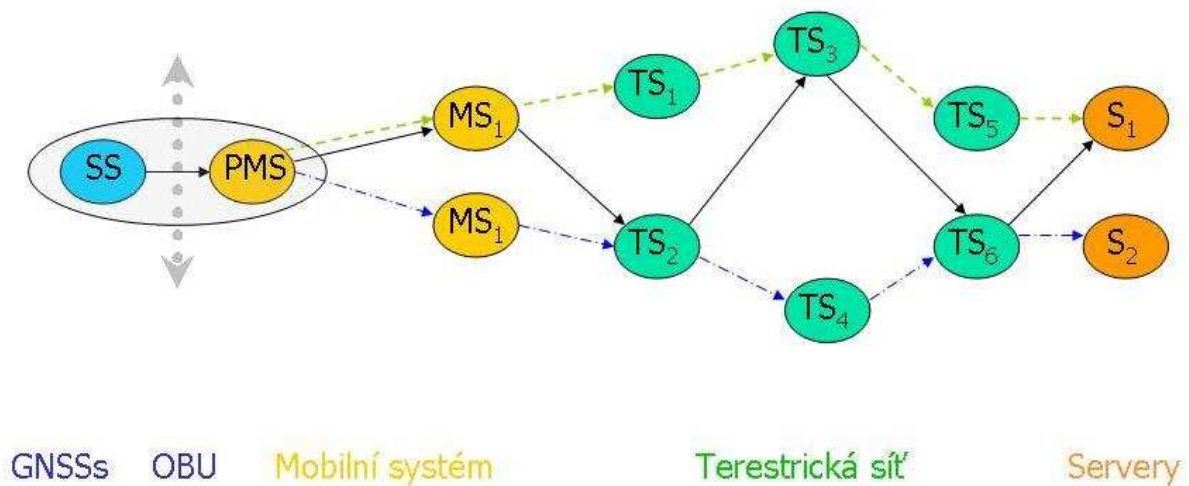
Ve většině případů vazba mezi telematickými a komunikačními performačními indikátory sub-systému dle obr. 1 není triviální. Telematické indikátory jsou obvykle vázány na více indikátorů komunikačních a je tomu i naopak.



**Obr. 1:** Telematický subsystém

Jejich vzájemnou vazbu lze tedy popsat transformační maticí. Cílem studia je identifikace transformační matice s cílem nalezení zejména kritických hodnot s dominantním vlivem na korektní funkci systému jako celku.

Na obr. 2 je logické schéma telematického řetězce v několika alternativách konkrétně vystavěného komunikačního řetězce, jehož topologie se nastavuje automaticky síťovými nástroji, které vychází z momentální polohy mobilní jednotky a stavu uzlů páteřního komunikačního řešení.



**Obr. 2:** Telematický subsystém popsáný řetězcem uzlů

#### 4 Základní pojmy a kritéria volby komunikačního řešení

Vlastnosti komunikačních řešení pro telematiku a jejich příspěvek k celkovým systémovým parametrům jsou uvedeny např. v [5], [8], [4], [10], [11] a [12]. Vzhledem k variabilitě možných alternativ je následující krátká analýza omezena jen na „typickou“ telematickou konfiguraci, které i odpovídá řešení projektu sledování pohybu na ploše letiště s explicitně a transparentně stanovitelnými požadavky na telematický sub-systém. Přístupová bezdrátová řešení, pokrývající zejména rozlehlá území, se v mobilní části nemohou vázat jen na jednu alternativu. Do komunikačního řetězce je nutno „vložit“ nástroj pro volbu konkrétního mobilního řešení za daných podmínek podle soustavy vložených kritérií a příslušných algoritmů. Doposud nejkompaktnějším dostupným nástrojem je řešení, jehož hlavní obrysy a principy jsou tvořeny řadou přijatých a rozpracovaných standardů ISO a ETSI – CALM (Continuous Air interface for Long and Medium distance) - viz. např. [13]. CALM je orientován směrem k ITS komunikačním řešením a je v současnosti předmětem i našeho studia.

## 5.1 Obecná pravidla návrhu

Metodika vychází z výsledků analýzy aditivního vlivu komunikačních parametrů řetězce na jednotlivé telematické performační indikátory, která je popsána např. v [12]. Následně shrneme jen výsledky analýzy s tím, že budeme v jednotlivých výrazech uvažovat výhradně komunikační parametry, tj. vyjádříme aditivní příspěvek komunikačního řešení příslušnému telematickému performačnímu indikátoru:

### ➤ Přesnost

- vzdálenost, kterou urazí objekt za dobu komunikace mezi čidlem a serverem:

$$\Delta p_i = v v_i * \left( \begin{array}{l} d_{u,i} + rc_{hs,m,i} + rc_{hd,m,i} + rc_{rp,m,i} + rc_{r,f,i} + rc_{r,m,i} + d_{d,i} + \\ + t_{na,m,i} + t_{na,f,i} \end{array} \right), \quad (4.1.1)$$

### ➤ dostupnost

- doba potřebná k akceptaci bezdrátového připojení OBU bázovou stanicí a přenosu zprávy komunikačním řetězcem:

$$\Delta t_{ds,i} = t_{oi,i} + d_{d,i} + rc_{hs,m,i} + rc_{hd,m,i} + rc_{rp,m,i} + rc_{r,f,i} + rc_{r,m,i} + \\ + d_{u,i} + t_{na,f,i} + t_{na,m,i}, \quad (4.1.2)$$

### ➤ spolehlivost

- doba nedostupnosti služby v daném intervalu:

$$\Delta t_{ina,i} = t_{na,f,i} + t_{na,m,i} + ns_{hsm,i} * rc_{hs,m,i} + ns_{hd,m,i} * rc_{hd,m,i} + \\ + ns_{rpm,i} * rc_{rp,m,i} + ns_{sf,i} * rc_{r,f,i} + ns_{rm,i} * rc_{r,m,i}, \quad (4.1.3)$$

### ➤ kontinuita

- doba výpadku komunikační služby:

$$\Delta t_i = rc_{hs,m,i} + rc_{hd,m,i} + rc_{rp,m,i} + rc_{r,f,i} + rc_{r,m,i} + t_{na,m,i}, \quad (4.1.4)$$

### ➤ Integrita

- doba předání informace o chybě čidla:

$$\Delta t_{tsna,i} = rc_{hs,m,i} + rc_{hd,m,i} + rc_{rp,m,i} + rc_{r,f,i} + rc_{r,m,i} + d_{d,i} + \quad (4.1.5)$$

$$+ t_{na,f,i} + t_{na,m,i},$$

kde jsou

- $d_{u,i}$  - přenesení povelu k inicializaci měření (upload),
- $d_{d,i}$  - přenos naměřené hodnoty (download),
- $ns_{x,i}$  - počet automaticky obnovovacího /nastavovacího procesů „x“ v periodě  $\langle 0, T \rangle$ ,
- $rc_{hs,m,i}$  - předání do jiné buňky v rámci jednoho telekomunikačního bezdrátového řešení,
- $rc_{hd,m,i}$  - předání komunikace mezi různými přenosovými (CALM) médii,
- $rc_{rp,m,i}$  - zpětnovazební natavení parametrů podle referenční kritické hodnoty (např. BER – Bit Error Rate),
- $rc_{r,f,i}$  - obnovení funkce terestrické redundantní sítě (MTTR),
- $rc_{r,m,i}$  - obnovení funkce mobilního systému automatickou záměnnou redundantní částí (Mobile MTTR),
- $t_{na,f,i}$  - nedostupnost fixní komunikace z důvodu závady,
- $t_{na,m,i}$  - nedostupnost mobilní komunikace z důvodu závady anebo porušení podmínek přenosu informace,
- $t_{oi,i}$  - doba pro integraci komunikační jednotky OBU (On Board Unit) do příslušné buňky mobilního systému.

Vztah aditivního vlivu telekomunikačních performačních indikátorů  $\overrightarrow{tki}$  na telematické indikátory  $\overrightarrow{\Delta tmi}$  pomocí transformační matice TM lze vyjádřit rovnicí:

$$\overrightarrow{\Delta tmi} = TM \cdot \overrightarrow{tki}, \quad (4.1.6)$$

kde pro  $\overrightarrow{\Delta tmi}$ , TM,  $\overrightarrow{tki}$  platí, že

$$\Delta \overrightarrow{tmi} = \begin{bmatrix} \Delta p_i \\ \Delta t_{ds,i} \\ \Delta t_{ma,i} \\ \Delta t_i \\ \Delta t_{tsna,i} \end{bmatrix} \quad \Delta \overrightarrow{tki} = \begin{bmatrix} d_{u,i} \\ d_{d,i} \\ rc_{hs,m,i} \\ rc_{hd,m,i} \\ rc_{rp,m,i} \\ rc_{r,f,i} \\ rc_{r,m,i} \\ t_{na,f,i} \\ t_{na,m,i} \\ t_{oi,i} \end{bmatrix}$$

a transformační matice

$$TM = \begin{bmatrix} k_{p,ui} \cdot v_i, & k_{p,di} \cdot v_i, & k_{p,hsmi} \cdot v_i, & k_{p,hdmi} \cdot v_i, & k_{p,rpmi} \cdot v_i, & k_{p,r,fi} \cdot v_i, & k_{p,rmi} \cdot v_i, & k_{p,na,fi} \cdot v_i, & k_{p,nami} \cdot v_i, & 0 \\ k_{d,ui}, & k_{d,di}, & k_{d,hsmi}, & k_{d,hdmi}, & k_{d,rpmi}, & k_{d,r,fi}, & k_{d,rmi}, & k_{d,na,fi}, & k_{d,nami}, & k_{d,oi} \\ k_{s,ui}, & k_{s,di}, & k_{s,hsmi} \cdot ns_{hsmi}, & k_{s,hdmi} \cdot ns_{hdmi}, & k_{s,rpmi} \cdot ns_{rpmi}, & k_{s,r,fi}, & k_{s,rmi}, & k_{s,na,fi}, & k_{s,nami}, & 0 \\ 0 & 0 & k_{k,hsmi}, & k_{k,hdmi}, & k_{k,rpmi}, & k_{k,r,fi}, & k_{k,rmi}, & k_{k,na,fi}, & k_{k,nami}, & 0 \\ k_{i,ui}, & k_{i,di}, & k_{i,hsmi}, & k_{i,hdmi}, & k_{i,rpmi}, & k_{i,r,fi}, & k_{i,rmi}, & k_{i,na,fi}, & k_{i,nami}, & 0 \end{bmatrix} \cdot$$

Parametr  $v_i$  je vážený vliv rychlosti nabývajících hodnot v intervalu  $\langle 0, vv_i \rangle$  s tím, že váha je individuálně stanovena podle reálného vlivu na výsledný parametr přesnosti konkrétní aplikace,  $ns_{xx,m,i}$  jsou koeficienty násobnosti výskytu příslušných jevů v daném časovém intervalu. Parametry  $k_{xx,yy,m/f/l-,i}$  nabývají v jednotlivých iterativních krocích postupně hodnoty „0“ nebo „1“ dle pravidel  $i - iv..$

Iterativní úpravy parametrů  $k_{xx,yy,m/f/l-,i}$  matice TM jsou realizovány s využitím pravidel uvedených pod body  $i - iv$ . Jednotlivé jevy charakterizované telekomunikačními indikátory není možné v řadě případů považovat za nezávislé, a proto pravděpodobnost koincidence vlivu více dominantních indikátorů komunikačního řetězce nelze v těchto případech stanovit prostým součinem jejich pravděpodobností jako izolovaných jevů. Případem, kdy nezávislost jevů platí, jsou například automaticky obnovitelné výpadky pevné a mobilní části komunikačního řešení, pokud mají zcela nezávislé řízení. Zcela odlišná situace je v případě výpadků přístupové sítě z důvodu přepínání mezi buňkami ve vazbě na automatické nastavování parametrů. Tyto procesy jsou ze samého principu velmi často provázány. Jsou i případy, kdy např. výpadek sítě zamaskuje automatické přepínání mezi buňkami, které může následovat až po obnově funkce sítě a pod. Identifikace významných indikátorů proto není

triviální proces. V případě, že je zohledněn jako významný ten parametr, který má významně nižší pravděpodobnost, než je stanovená pravděpodobnostní hladina, v důsledku znamená vždy nadhodnocený vliv komunikačního řešení na výsledné telematické parametry.

Předkládáme čtyři kroky stanovení telekomunikačních performačních indikátorů, které významně ovlivňují hodnotu výsledných telematických performačních indikátorů:

- i. primární eliminace vlivu telekomunikačního performačního indikátoru* vhodným technickým řešením, kterým je například důsledné pokrytí signálem oblasti dané třídy,
- ii. primární zanedbání vlivu telekomunikačního performačního indikátoru* s ohledem na identifikovaný minoritní vliv indikátoru,
- iii. vyloučení koincidence jevů*, které jsou nezávislé - pravděpodobnost jejich koincidence, daná součinem jejich pravděpodobností jako izolovaných nezávislých jevů, je nevýznamná. Následně je z dané skupiny identifikován nejméně významnější jev,
- iv. Iterativní eliminace s modelovou volbou* různých komunikačních alternativ a jejich nastavení s kvantifikací dopadu na výsledné hodnoty telematických indikátorů. Kritériem volby a nastavení je získat „přiměřenou“ úroveň vlivu telekomunikačního řešení na výsledné hodnoty telematických indikátorů. Poslední krok (*iv*) může vést v některých případech až opět ke kroku (*i*).

Touto iterativní metodou úpravy konverzní matice *TM* lze dospět ke stanovení parametrů telekomunikačního řešení vyhovujícího nárokům kladených aplikací, které jsou kvantifikovány právě telematickými performačními indikátory. Jedná se ale vždy o znalostní proces, který nelze realizovat mechanicky, protože vyžaduje znalost řešitele vázat hodnoty jednotlivých indikátorů na pochopení jejich významu a souvislostí v komunikačním řešení. Je nezbytné, aby řešitel byl schopen stanovit i ekonomické dopady jednotlivých alternativ řešení a nastavení.

Zkušenosti s touto metodou ukazují, že znalostní proces dává efektivní možnost využití této metodiky i pro rozdělení oblasti poskytované služby do jednotlivých tříd podle reálných požadavků a podmínek poskytování komunikační služby.

Stejně tak lze i ohodnotit jednotlivá přístupová řešení pro stanovení kritérií volby alternativního přístupového řešení metodou založenou na standardech CALM - viz. [13] a [14].

## 5.2 Rodina standardů CALM v ITS systémech

CALM řeší předání přístupové služby alternativnímu řešení, pokud je identifikován potenciál nedostupnosti přístupové služby v požadované kvalitě. CALM je soubor standardů ISO/TC 204/WG 16. Do této skupiny patří: ISO 21217 CALM Architecture, ISO 21210 CALM Networking Protocols, ISO 21218 CALM Medium service access points a dále řada připravovaných standardů.

„CALM algoritmy“ trvale měří parametry a vyhodnocují indicie použitého „CALM média“, které se zvolenou hladinou pravděpodobnosti indikují potenciál potřeby změny. Současně i měří příslušné parametry alternativních přístupových řešení. Podle stanovených kritérií rozhodují o volbě nejvhodnější přístupové komunikační alternativy např. na základě (i) zvyšující se chybovost přenosu signálu dosahující stanovenou kritickou hladinu anebo (ii) klesající intenzity radiového signálu a pod.

Bezdrátové komunikační systémy typu „carrier grade“ mají implementované vlastní optimalizační algoritmy (viz např. IEEE Std. 802.16d,e), které ve zpětné vazbě korigují parametry systému (vysílací výkon, typ modulace, typ a úroveň redundance kanálového kódování) tak, aby vyhověly limitním hodnotám stanoveným pro dané řešení (např. s podmínkou  $BER < 10^{-9}$ ).

Vnitřní procesy optimalizace přenosových parametrů komunikačního řešení (CALM média – např. IEEE Std. 802.16d/e) mohou proto kolidovat s optimalizačními procesy standardu CALM. Oba systémy kontinuálně vyhodnocují stav právě použitého komunikačního CALM media a mohou simultánně, ve skutečnosti ale kontraproduktivně, zasáhnout s legitimním cílem dodržení stanovených limitů sledovaných parametrů.

Je proto nezbytná koordinace nastavení referenčních hladin klíčových parametrů a hierarchické řízení jednotlivých výkonných algoritmů tak, aby nedocházelo ke kontraproduktivní interakci více simultánně nastartovaných procesů.

Ideální varianta je ve vzájemném propojení jednotlivých algoritmů do jednoho hierarchicky strukturovaného systému. Implementace standardů bude patrně upřednostňovat postupnou integraci hlavních funkčních skupin ODU (On Board Unit) jednotky včetně jednotlivých implementací CALM médií do jednoho modulu. Vytvoření integrovaného systému však musí být doprovázeno cílevědomým a s ohledem na dopad na řadu dalších souvisejících standardů poměrně komplexním standardizačním procesem.



### 5.3 Bezdrátové řešení

Nároky na parametry mobilních systémů v diskutovaném projektu lze kategorizovat z hlediska běžně dostupných řešení jako velmi specifické a lze očekávat potenciální nedostatky prakticky všech dostupných komunikačních systémů. Pro řešení komunikace s mobilním objektem s nainstalovaným čidlem polohy (GPS) vozidla byly v letech 2004 a 2005 postupně testovány jednotlivé dostupné komunikační systémy z nichž nejbližší aplikovatelnosti (s identifikovanými významnými nedostatky) byly WiFi (802.11b/g) a GPRS.

Certifikace IEEE Std. 802.16-2004 WiMax fórem (I/2006) otevřela možnost aplikovat technologii WiMax, tj. komunikačních systémů na bázi tohoto standardu. WiMax byl v prosinci 2005 rozšířen o mobilní verzi – Appendix IEEE Std. 802.16e, (též 802.16-2005). V současnosti (říjen 2006) probíhá na Letišti Praha testování systému s tímto „carrier grade“ komunikačním řešením ve verzi 2004. Verze „2005“ nebyla k dnešnímu dni certifikována a očekává se, že certifikované produkty nebudou na trhu dříve než koncem roku 2007.

Bez zajímavosti není ani nový standard 802.11e z rodiny WiFi, který se svými systémovými prostředky značně přiblížil aplikovatelnosti v ITS. Zatím je ale jeho potenciál v profesionálních aplikacích limitován výhradním užitím v nelicencovaném frekvenčním pásmu, stejně jako i nevyřešenou certifikací. Užití poměrně slibného systému UMTS brání zatím nedostatečné plošné pokrytí touto službou, které je navíc soustředěné především na velké urbanistické celky.

### 5.4 IP VPN řešení

#### 5.4.1 L2 VPN

VPN realizovaná na druhé vrstvě - L2 VPN nabízí relativně transparentní nástroj na úrovni vrstvy síťového rozhraní TCP/IP modelu umožňující vytvořit virtuální „tunel“ pro přenášená data - viz. např. [7] a [9]. Na úrovni místních sítí (LAN – Local Area Network) je L2 vrstva v TCP/IP prostředí dominantně řešena s použitím „Ethernetu“, čímž rozumíme (nekorektně vzhledem k exklusivnímu vlastnictví značky „Ethernet“ firmou Xerox) rodinu protokolů řady IEEE Std. 802.3 s podporou 802.1p a 802.1q. Bez ohledu na námitky zastánců „robustnějších“ řešení, se stále častěji protokoly IEEE 802.3 s uvedeným rozšířením aplikují i v rozlehlých sítích WAN (Wide Area Network). V sítích WAN (stejně jako i MAN – Metropolitan AN) najdeme často i řešení na bázi protokolů ATM a Frame Relay s možností tvorby virtuálních okruhů. Neméně časté je i užití TDM sítí SDH v režimu bod – bod (P2P – Point to Point) s bezkonkurenční dobou obnovení spojení (MTTR), tj. obvykle do 50ms po nastalé poruše jakéhokoli uzlu v cestě mezi vstupním a výstupním uzlem anebo těmito uzly relevantního vedení.

Sítě L2 s využitím přepínačů na bázi protokolů IEEE 802.3, 802.1d a 802.1q nabízejí s použitím VLAN (Virtual LAN) bezpečné propojení právě všech bodů uzavřené skupiny. V L2 síti může bez narušení bezpečnostní integrity jednotlivých skupin koexistovat více aplikací jednoho anebo i více uživatelů. Kritici tohoto řešení se stále odvolávají na relativně nízkou stabilitu, malou flexibilitu řešení a pomalou obnovu sítě po poruše, které byly zejména u rozsáhlejších sítí důsledkem aplikace původního protokolu STP (Spanning Tree Protocol), který byl později nahrazen protokoly RSTP (Rapid STP) a MSTP (Multiple SPT). Protokol RSTP podstatně zdokonalil funkcionalitu a stabilitu těchto systémů. Zaručení vysokého stupně privátnosti sítě pro správu uzlů se dosahuje aplikací stejných prostředků, tj. VLAN, které zajistí spolehlivé oddělení řídicích povelů sítě od přenášené informace.

Doba konvergence sítě na L2 Ethernet sítích dosáhla díky užití protokolu RSTP (nyní součást standardu 802.1q) na sub-sekundovou hodnotu a to i v případě rozlehlých sítí s limitem cca 100 uzlů. Příkladem jsou vlastnosti řešení popsáno v [7] a [9]. Některé implementace „Ethernetu“ (např. firmy Hirschman, Siemens a pod.) v kruhové topologii vytvářejí tzv. HIPER-ring-y a používají po lokální poruše pro obnovení komunikace alternativní cestu selektivně „otevřeného“ kruhu na příhodném místě kruhové struktury. Kruh je otevřen pouze pro informační a nikoliv pro testovací a řídicí rámce. Toto řešení vychází do jisté míry z analogie konceptu, který je aplikován u kruhové architektury SDH. Jeho užitím se významně zkracuje parametr MTTR a to i oproti sítím s využitím protokolu RSTP, který vytváření stromové struktury řeší „otevřením“ kruhových struktur síťovou protokolovou cestou – viz. např. [10].

Konvergence sítí L2 na bázi „Ethernetu“ s aplikací RSTP zůstává o jeden řád pomalejší oproti parametrům, které nabízejí přenosová řešení na bázi SDH. Naopak je ale o řád lepší, než dále popsané řešení L3 VPNs, případně ještě pomalejší MPLS/L3. SDH řešení jsou srovnatelná s „HIPER-ring-ovou“ alternativou, ale jejich rozšíření zatím brání především nedostatečný zájem o tuto alternativu u dominantních světových výrobců L2 řešení a z toho vyplývá i nedostatečně rychlý proces standardizace.

## 5.5 MPLS VPN

V IP směrování každý směrovač analyzuje každou hlavičku IP a podle jejího obsahu určuje další směr paketu. Tato metoda směrování je náročná s ohledem na nutnost zpracování obsahu hlavičky, která obsahuje i řadu, pro tuto funkcionalitu nepotřebných, informací. IP směrování využívá rozdělení adres do „tříd“ FEC (Forwarding Equivalence Class) s tím, že každá tato třída používá stejnou cestu. Každý směrovač si ale mapuje adresní množinu do FEC samostatně, protože se na každém směrovači poměry vzájemně liší.

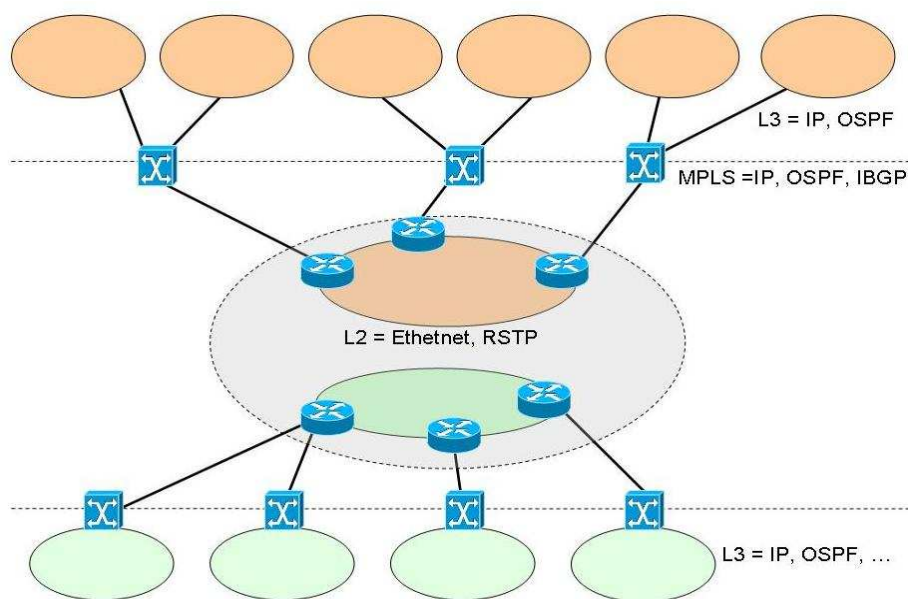
Na rozdíl od sítí IP MPLS (MultiProtocol Label Switching) se přiřazení paketu do FEC v síti provede jen jednou a to právě při vstupu do sítě (I LSR – Ingress Label Switching Router). Zařazení paketu do třídy FEC navíc bere v úvahu podstatně více parametrů než jen IP adresa, tj. i příslušnost k dané VPN, požadovaná úroveň kvality (QoS), místo vstupu do sítě MPLS, multicastová adresa. Požadavek na výkon LSR/směrovač je podstatně nižší, než na směrovač u klasického IP směrování, protože nemusí zajišťovat opakovanou analýzu IP hlavičky a opakované zařazování do FEC.

MPLS VPN eliminuje většinu problémů IP protokolu. Vzhledem k omezeným možnostem OSPF a i dalších IGP (Interior Gateway Protocol) protokolů, VPN MPLS řešení vyšlo z využití komplexního EGP (Exterior Gateway Protocol) protokolu řady BGP obvykle užívaných pro propojování autonomních systémů. Jmenovitě je užíván IBGP, který je rozšířen pro potřeby VPN o specifické funkce. MPLS umožňuje volbu směrovacích cest podle více kritérií a nabízí i efektivní řízení využití kapacity sítě (traffic engineering), tj. řízení toku provozu s cílem optimalizace rovnoměrného vytížení co nejširší části sítě. Tyto přednosti MPLS jsou jedním z významných argumentů pro volbu MPLS. Unikátních parametrů je ale dosaženo za cenu významného navýšení složitosti řešení, tj. i nákladovosti služby. Proti zmíněným přednostem MPLS navíc stojí nevýhody zejména v parametru konvergence (MTTR), která u rozsáhlých sítí dosahuje hodnot až desítek vteřin. Dobu konvergence MPLS VPN řeší i aplikace MPLS/ATM, ale opět za cenu dalších zvýšených nákladů.

MPLS/ATM vzniká přímým propojením ATM s MPLS. ATM uzel se vlastně stává výkonným uzlem MPLS sítě. Paket se fragmentuje na odpovídající počet buněk a ATM adresy VPI/VCI reprezentují vlastně MPLS značku (label) - v MPLS/ATM není aplikována explicitní hlavička MPLS. Tento přístup spojuje pozitivní parametry jak MPLS, tak ATM, tj. mj. i konvergenční doby v případě výpadku části sítě, který řeší síť ATM. Vysoké investiční a provozní náklady jsou ale vnímány jako hlavní a často zcela zásadní handicap MPLS/ATM.

MPLS/L2 lze realizovat na podobném principu jako L3/L2 - viz obr. 3. Námí navržené pojetí L3/L2 MPLS sítě, popsané např. v [9] nebo [10], umožňuje provozovat nad společnou L2 infrastrukturou více bezpečně oddělených MPLS i IP sítí.

Tato představa zdánlivě popírá obecně přijatá pravidla návrhu a realizace MPLS sítí, která zdůrazňují nutnost celé řešení koncipovat jako jeden systém. Nicméně se ukazuje, že striktní dodržování tohoto přístupu vede ke tvrdostem a zvýšené komplexnosti, což se obvykle nepříznivě odrazí ve výkonnosti, ceně a někdy i kvalitě služby.



**Obr. 3:** Princip MPLS/L2

## 5 Závěr

Metodika návrhu telematických sub-systémů vychází z modulární koncepce inteligentního dopravního systému (ITS), popisu vzájemných systémových rozhraní s aplikovanými jednotlivými datovými protokoly a stanovení kvalitativních a kvantitativních parametrů přenosového řešení pro danou architekturu telematického sub-systému. Významným úkolem je i zajištění vzájemné interoperability jednotlivých telematických subsystémů a optimalizace požadavků na technická řešení jednotlivých prvků telematického řetězce.

Důraz byl kladen na vytvoření nástrojů pro kvantifikaci požadavků na jednotlivé články komunikačních řešení telematických aplikací právě v kontextu s modulárním chápáním systému a jednotlivých subsystémů s použitím příslušných performačních indikátorů.

Metoda vychází z definičního přiblížení telematických a telekomunikačních performačních indikátorů. Další krok představuje sjednocení definiční pravděpodobnostní hladiny jednotlivých parametrů a vyjádření, pokud je to ovšem možné, jednotlivých parametrů časovou veličinou. Tímto přístupem je otevřena cesta vytvoření relativně jednoduchého řešení. Identifikace parametrů dává možnost vhodné volby komunikačního systému, nastavení jeho parametrů, stanovení limitních parametrů i alternativních bezdrátových řešení s využitím řízení volby systémem CALM. Identifikace umožní i rozdělení obsluhované oblasti do více tříd, které jsou specifikovány limity telematických performačních indikátorů.

Za hlavní výsledek našeho výzkumu považujeme popsanou metodiku návrhu komunikačního řešení, které vychází z kritérií vyjádřených telematickými

performančními indikátory. Výchozí konverzní matice TM mezi vektory komunikačních a telematických performančních indikátorů je navržena v obecné struktuře. Každý z parametrů je třeba v iterativním postupu ve čtyřech postupných krocích zhodnotit v kontextu konkrétního řešení. Navrženým postupem lze najít takové telekomunikační řešení, které vyhoví nárokům aplikací kvantifikovaných telematickými performančními indikátory stejně jako i finančním limitům platným pro dané řešení.

Zkušenosti s touto metodou potvrzují možnost využití této metodiky pro efektivní dělení oblasti poskytované služby do jednotlivých tříd podle reálných požadavků a podmínek poskytování jak lokační, tak komunikační služby.

Ve srovnání s aplikacemi IT jsou většinou požadavky telematických řešení na parametry komunikačních řešení specificky nastavené a paradoxně často vedou k vyloučení jinak běžně užívaných sofistikovaných alternativ (MPLS/L3, GPRS a EDGE). Naopak jako přiměřené se jeví levnější a jednodušší terestrické alternativy typu L3/L2 spínání využívající specifické vlastnosti IEEE Std. 802.3, 802.1d a 802.1d q na L2, případně v kritických oblastech i doposud nestandardizovaná řešení typu „HIPER ring“. Jako nosná přístupová mobilní bezdrátová část vyhovující plně i nejvyšším známým telematickým nárokům je komunikační řešení na bázi standardů řady IEEE Std. 802.16d/802.16e.

Terestrické L3/L2 spínání typu „HIPER ring“ v kombinaci s mobilním systémem dle IEEE Std. 802.16e bylo zvoleno jako nosné řešení komunikační části telematického řetězce pro aplikaci Letiště Praha pilotního sledování a navigování pohybu vozidel. Toto řešení je pro nejnižší třídu rozšířeno nabídkou alternativních komunikačních řešení, jejichž výběr je řízen dle zadaných kritérií systémovými prostředky na bázi standardů CALM.

Významným výsledkem výzkumu je potenciál podstatného snížení nákladů, pokud je komunikační řešení navrženo a konfigurováno předloženou metodikou, jelikož právě provozní a investiční náklady jsou považovány za hlavní důvody relativně pomalého rozšiřování ITS aplikací.

Významný je i fakt, že relativně nižší náklady sdílených telekomunikačních řešení nemají v navrhovaných alternativách za důsledek snížení bezpečnostní integrity. S využitím VLAN/VPN nástrojů a příslušným způsobem volených tříd služeb (CoS) lze sdílet kapacitu telekomunikačního řešení více aplikacemi, tj. na jedné síti lze provozovat spolu s privátními službami pro telematické aplikace s mimořádnými nároky na bezpečnost i další služby (např. IT) pro téhož uživatele, stejně jako i případně komerční služby pro třetí strany. Obdobně lze i na vybraných a prověřených (ověřuje se zejména korektnost návrhu a provozu služeb a bezpečnostní integrity sítě) komerčních veřejných sítích bezpečně provozovat náročné telematické aplikace. Skutečné náklady pak vychází významně nižší než u privátních řešení, což lze hodnotit jako nezanedbatelný pozitivní výsledek.

## Seznam literatury

- [1] Svítek, M.: Architecture of ITS Systems and Services in the Czech Republic, International Conference Smart Moving 2005, Birmingham 2005, England.
- [2] Svítek, M.: Intelligent Transport Systems - Architecture, Design methodology and Practical Implementation , Key-note lesson, 5th WSEAS/IASME Int. Conf. on Systems Theory and Scientific Computation, Malta 2005.
- [3] Svítek, M., Novovičová, J.: Performance Parameters Definition and Processing, Neural Network World, 6/2005.
- [4] Svítek, M., Zelinka, T.: Monitorování a řízení pohybu pohyblivých objektů, Sborník přednášek mezinárodní konference Navage, Praha 2006.
- [5] Zelinka, T., Svítek, M.: Alternativní standardy pro telematické aplikace, Convergence, č. 12, 2005.
- [6] Svítek, M., Zelinka, T.: Bezdrátová komunikační řešení s vysokými požadavky na bezpečnost, dostupnost a kvalitu služby. Sborník přednášek Quality&Security Praha, 2006.
- [7] Zelinka, T., Jakeš, J.: Ethernet – alternativní e-komunikační prostředí, Sdělovací technika, č. 1, 2006.
- [8] Zelinka, T., Svítek, M.: Ethernet: konvergenční komunikační prostředí pro dopravní telematiku, Convergence, č. 9, 2005.
- [9] Zelinka, T., Jakeš, J.: MPLS anebo L2 IP VPN?, Sdělovací technika, č.5, Praha, 2006,
- [10] Svítek, M., Zelinka, T.: Ethernet a telematika, Sborník přednášek INDETCO, Praha, 2006.
- [11] Svítek, M., Zelinka, T.: Communication tools for Intelligent Transport Systems, Proceedings of symposium WSEAS - Communications, Athens, 2006.
- [12] Svítek, M., Zelinka, T.: Communication subsystem as an integral part of the ITS solution, WSEAS Trans. on BUSINESS and ECONOMICS, Athens, 2006.
- [13] Williams, B: CALM handbook V1.0, Document ISO TC204 WG.16.1 CALM, 2004.
- [14] Svítek, M., ... , Zelinka, T.: Informační systém pro podporu přepravy nebezpečných věcí využívající systém GNSS, Výroční zpráva pilotního projektu GALILEO – aplikační projekty, grant MD 802/210/112, Praha, 2006.

## Odborný životopis

### Vzdělání:

- 1977 - 1981 Vědecká příprava – CSc.,  
ČSAV, Geofyzikální ústav, Praha,
- 1974 - 1978 ASŘ – tříleté postgraduální studium  
ČVUT - FEL,
- 1967 - 1972 Technická kybernetika,  
ČVUT – FEL.

### Zaměstnání:

- 2005 - ČVUT, Fakulta dopravní, odborný asistent
- 1998 - 2005 FRANCE TELECOM, RSE / EQUANT Czech Republic,  
country manager s působností v ČR, na Slovensku a dle potřeby  
i dalších zemích CEE (2001 – 2005) a před akvizicí GLOBAL  
ONE / EQUANT, zástupce generálního ředitele s působností  
v ČR a na Slovensku (současně i člen Rady pro liberalizaci  
telekomunikací - MDS ČR) (1998 – 2001)
- 1993 - 1996 SPT TELECOM, a.s. - NEXTEL, o.z., výkonný ředitel pro  
rozvoj datových služeb, provozu a rozvoje sítě (1995-1998) a  
před akvizicí v EuroTel Praha produktový manager VSAT a  
datových služeb (1993 – 1996)
- 1976 - 1993 ČSAV, Geofyzikální ústav, vědecký tajemník ústavu a člen  
ekonomické rady ČSAV (1990 - 93), vědecký pracovník (1976 -  
1989)
- 1972 - 1976 VÚAP Praha, vývojový pracovník

### Vědecké zaměření:

Na Fakultě dopravní řeší problematiku telekomunikačních systémů mj. i v souvislosti s volbou a implementačními podmínkami telekomunikačních řešení v inteligentních dopravních systémech. Vzhledem ke klíčovému postavení telekomunikačních systémů v ITS je řešena metodika návrhu komunikačních systémů, které jsou popsány performačními indikátory aplikace. Výzkum je soustředěn i na nová a stávající povětšinou nestandardní

telekomunikační řešení, která splňují specifické požadavky dopravních systémů. Je mj. studován i dopad nehomogenního pokrytí obsluhovaných území s využitím buňkového pokrytí více nezávislými bezdrátovými systémy (CALM). Jsou využívány předchozí zkušenosti z mezinárodních i národních telekomunikačních projektů nejen v technické, ale i ekonomické oblasti. Období telekomunikačních aktivit předcházelo 17 let vědeckého základního výzkumu v oblasti fyziky Země s důrazem měřicí metody, sběr a zpracování velkých souborů dat a řízení laboratorního experimentu a vzdáleného observatorního geofyzikálního pozorování.

### **Pedagogické aktivity**

- přednášky povinné - Telekomunikace (denní i kombinované), Telekomunikační kabelové systémy, Telekomunikační systémy, Telekomunikace a multimedia,
- přednášky volitelné - Management telekomunikačních systémů, Družicové komunikační systémy
- vedení projektu „Člověk a globální komunikace“ (10 -15 studentů ročně),
- vedení 5 PhD studentů,
- vedení 6 diplomových prací.

### **Účast na projektech**

Současné:

- Monitorování a řízení pohybu objektů po ploše letiště pomocí GNSS v rámci - grant MD ČR 802/210/112,
- Informační systém pro podporu přepravy nebezpečných věcí využívající systém GNSS - grant MD ČR 802/210/112,
- Dopravní a marketingové průzkumy v dopravě - grant MD ČR č. F54e/075/520.

Nejvýznamnější ukončené:

- VoIP pro propojování veřejných telefonních sítí v IP komunikačním prostředí (v rámci nadnárodních rozvojových projektů Global One),
- VSAT přístupové řešení a zálohování páteřní datové sítě (rámcí rozvojových programů EuroTel Praha),



- Digitalizace geomagnetické observatoře GFÚ ČSAV Budkov a její napojení do mezinárodní observatorní a zpracovatelské sítě v rámci projektu INTERMAG (v rámci SPZV a projektu INTERMAG),
- Laboratorní magnetometrie pro studium magnetických vlastností hornin a On-Line identifikační metody Preizachova modelování magnetických struktur (v rámci SPZV a několika mezinárodních projektů),
- Řízení dopravního systému v rámci integrovaného výrobního úseku IVU 800 (rezortní výzkumný projekt TST společně s VÚMS Praha)