

VÝVOJ UMTS SÍTÍ A VYUŽITÍ V ŘÍDICÍCH A INFORMAČNÍCH SYSTÉMECH DOPRAVY

UMTS NETWORK DEVELOPMENT AND USE IN THE MANAGEMENT AND INFORMATION SYSTEM OF TRANSPORT

Miloslav Macháček¹

Anotace: Článek se zabývá vývojem UMTS sítí, vyhodnocením vlastností veřejných mobilních sítí 3G (T-Mobile, Telefónica a Vodafone) na základě experimentálního měření a možností využití v řídicích a informačních systémech dopravy.

Klíčová slova: HSDPA, HSPA, HSUPA, LTE, UMTS, odezva, rychlost připojení, download, výběrová směrodatná odchylka.

Summary: The article deals with the development of UMTS networks, evaluating the properties of public mobile networks, 3G (T-Mobile, Telefónica and Vodafone) on the basis of experimental measurements and the possibility of use in traffic control and information systems.

Key words: HSDPA, HSPA, HSUPA, LTE, UMTS, response, connection speed, download, standard deviation.

ÚVOD

Vzhledem k prudkému nárůstu dopravy a nutnosti zajistit mobilní komunikaci, dostávají se bezdrátové datové přenosy do popředí zájmu. V současné době je využíváno několik různých technologií bezdrátových datových přenosů mezi stacionárními a mobilními objekty. Tento článek se zabývá vývojem UMTS sítí, vyhodnocením vlastností veřejných mobilních sítí 3G (T-Mobile, Telefónica a Vodafone) na základě experimentálního měření a možností využití v řídicích a informačních systémech dopravy.

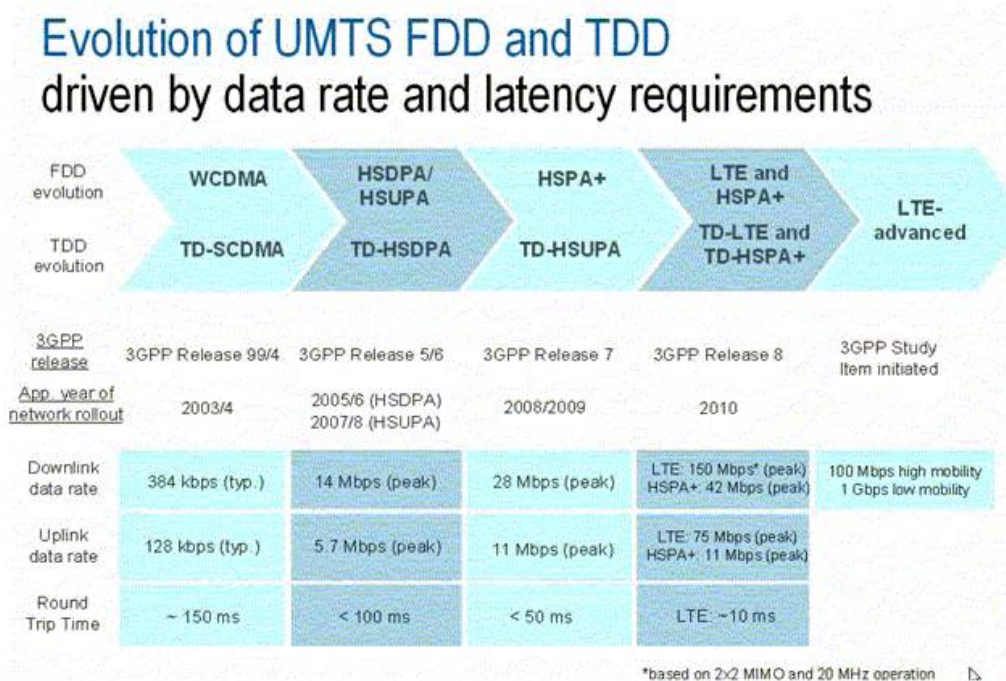
1. VÝVOJ UMTS SÍTÍ

Sítě UMTS byly poprvé definovány standardizačním orgánem 3GPP v roce 1999. První UMTS standard se jmenuje UMTS Release 1999. Od roku 1999 byla schválena řada standardů 3GPP - Release 1 až 8. Tato technologie začíná být technicky zajímavá schválením Release 4.

¹ Ing. Miloslav Macháček, Ph.D., Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informačních technologií, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 036 137,
E-mail: miloslav.machacek@upce.cz

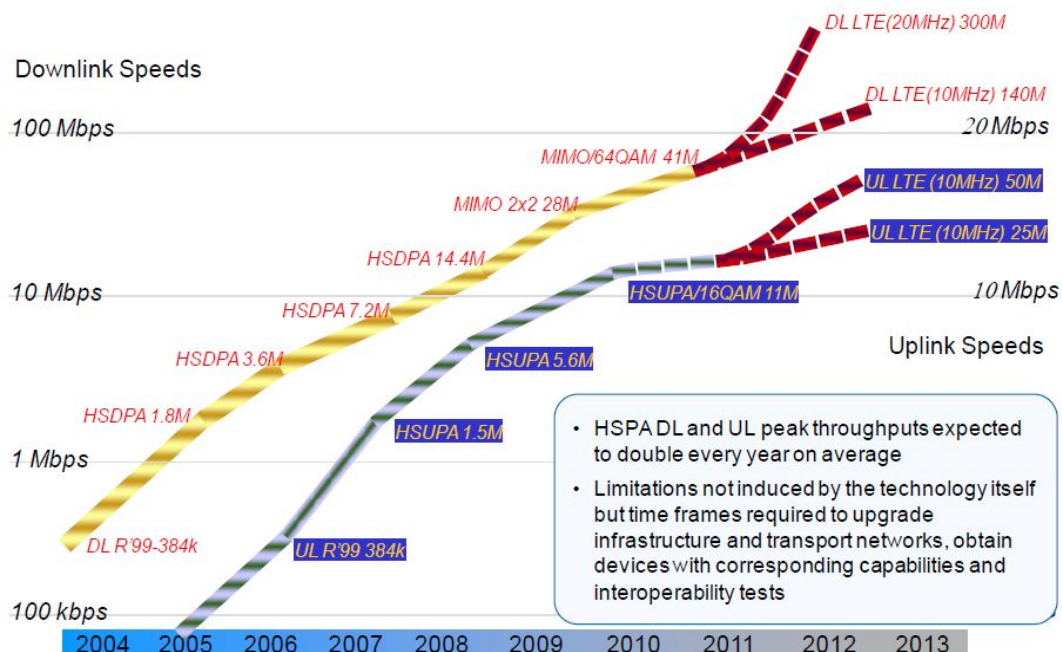
- **Release 4**
Technologie WCDMA. Udávaná rychlost je přibližně 384 kb/s na downlinku.
- **Release 5**
Technologie HSDPA. Udávaná rychlost je přibližně 3,6 Mb/s na downlinku.
- **Release 6**
Technologie HSUPA. Někdy se používá označení HSPA, které značí, že daná síť nabízí HSUPA i HSDPA. Udávaná rychlost je přibližně 14 Mb/s na downlinku.
- **Release 7**
Technologie HSPA+. Udávaná rychlost je přibližně 28 Mb/s na downlinku.
- **Release 8**
Jde o poslední schválený standard UMTS. Release 8 obsahuje mnoho významných změn. Z pohledu marketingu se tyto sítě nazývají LTE (Long Term Evolution). LTE je současně již označováno jako mobilní síť 4G. Udávaná rychlost je přibližně až 150 Mbit/s. Reálně dosahované rychlosti jsou v současnosti mnohem nižší.

Na obrázku 1 je graficky znázorněn vývoj UMTS FDD a TDD.



Obr. 1 - Vývoj UMTS, zdroj (TransAnatolia Consulting Services)

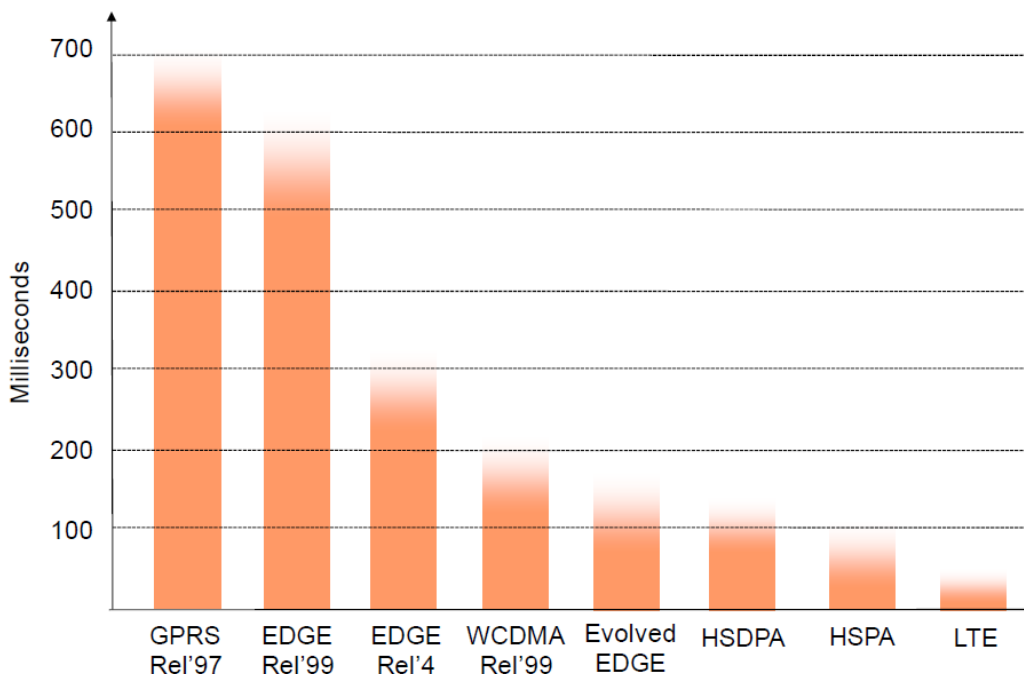
Na obrázku 2 je vidět pokračující vývoj datové propustnosti technologie HSPA a LTE. Z časového hlediska graf ukazuje přibližné zdvojnásobení datové propustnosti ročně.



Zdroj: (7)

Obr. 2 - Datová propustnost HSPA a LTE

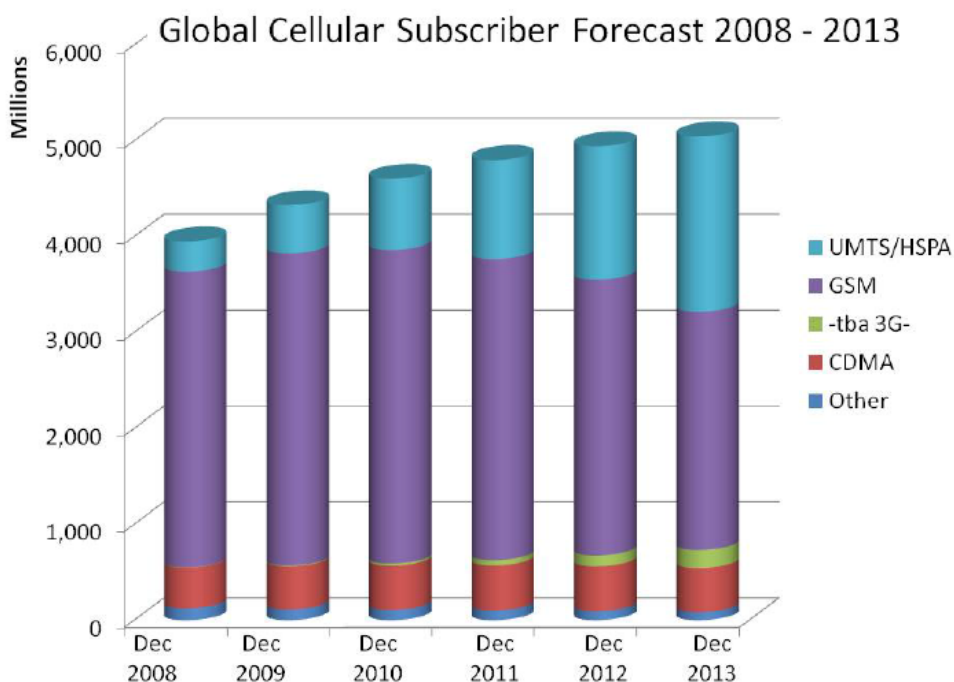
Na obrázku 3 je porovnání latencí různých technologií bezdrátových datových přenosů. Časové odezvy technologie LTE jsou jednoznačně nejnižší.



Zdroj: (7)

Obr. 3 - Porovnání latencí různých technologií

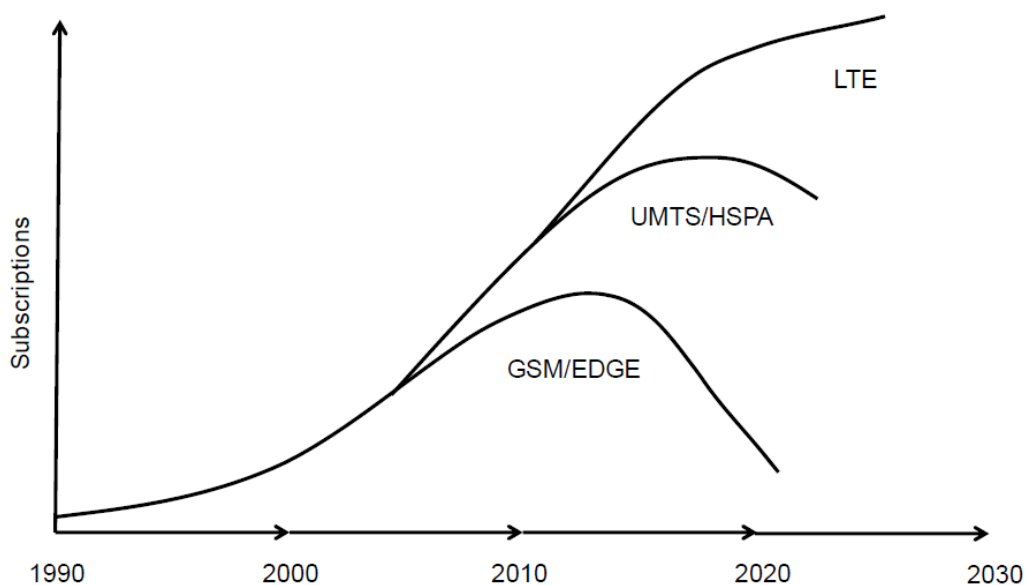
Obrázek 4 ukazuje přibližné počty uživatelů jednotlivých technologií ve světě. Technologie LTE se velmi brzy stane nejpoužívanější technologií bezdrátových datových přenosů.



Zdroj: (7)

Obr. 4 - Počty uživatelů jednotlivých technologií

Obrázek 5 ukazuje předpokládané využívání technologií v horizontu několika desetiletí. V současné době se technologie LTE řadí na přední pozici ve všech parametrech mezi ostatními technologiemi bezdrátových datových přenosů a čeká ji velká budoucnost.



Zdroj: (7)

Obr. 5 - Vývoj a využívání technologií datových přenosů

Technologie LTE je již komerčně spuštěná ve Švédsku a dalších zemích. Ve Švédsku je zprovozněno 600 základnových stanic BTS s technologií LTE. V Norsku je pokryta technologií LTE metropole Oslo. Tato technologie je využívána velmi omezeně i v Polsku, Estonsku a Uzbekistánu.

U technologie LTE v laboratorních podmínkách činí teoretická rychlost až 172,8 Mbit/s směrem k uživateli (downlink) a 57,6 Mbit/s směrem od uživatele (uplink). V praxi jsou dosahované rychlosti však mnohem nižší. Dosahují přibližně desetinásobků rychlosti 3G sítí.

2. VEŘEJNÉ MOBILNÍ 3G SÍTĚ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Využití mobilních 3G sítí nabízí na území ČR v současnosti veřejný operátor T - Mobile, Telefónica a Vodafone. V následujících kapitolách je provedeno porovnání mobilních sítí 3G na základě experimentálního měření.

3. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ SÍTÍ 3G (T-MOBILE, TELEFÓNICA A VODAFONE)

Měření rychlostí přenosů dat (downlink) a latencí (časových odezev) připojení v prostředí veřejných mobilních sítí 3G (T-Mobile, Telefónica a Vodafone) proběhlo koncem června 2011 v dopoledních hodinách v centru Pardubic. Všechna měření proběhla podle jednotné metodiky. Pro měření byly použity modemy, které běžně operátoři nabízí zákazníkům.

Měřené hodnoty byly zaznamenávány vždy v ustáleném stavu po zahájení měření. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny pomocí metody dílčích průměrů a střední kvadratické odchylky na množině devadesáti hodnot u každého operátora.

Množina naměřených hodnot N byla rozdělena do r skupin (intervalů) obsahujících n naměřených hodnot. Pro výpočet průměrné hodnoty \bar{x} byla použita metoda dílčích průměrů dle následujícího vztahu (1):

$$\bar{x} = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r \bar{x}_k = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \right)_k \quad (1)$$

kde:

$$k \in \langle 1, 2, \dots, r \rangle$$

$$j \in \langle 1, 2, \dots, n \rangle$$

$$\langle 1, 2, \dots, n \rangle \subset \langle 1, 2, \dots, N \rangle$$

přičemž platí (2):

$$N = r \cdot n \quad (2)$$

Pro střední kvadratickou odchylku byl použit vztah (3):

$$s = \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})^2} \quad (3)$$

U některých naměřených hodnot je zřejmé výrazné kolísání hodnot. Vysoké hodnoty střední kvadratické odchylky ukazují s největší pravděpodobností na výraznou závislost na vytížení BTS. Při měření mimo dobu plného vytížení operátorů byly tyto výchylky menší. Vlastnosti datových přenosů v jednotlivých veřejných mobilních sítích 3G jsou zřejmé z hodnot uvedených v následujících tabulkách a grafech.

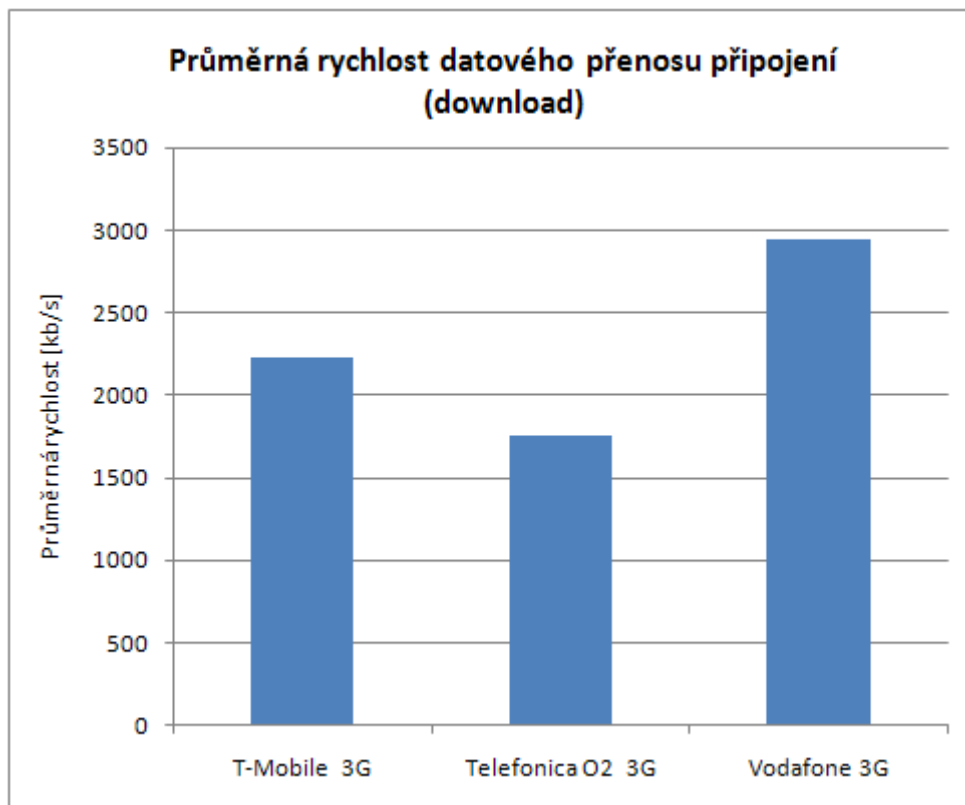
Měření rychlosti přenosů dat (downlink)

V následující tabulce a grafech jsou uvedeny dílčí průměry naměřených hodnot rychlostí datových přenosů (kb/s) v prostředí veřejných mobilních sítích 3G, jejich průměr a střední kvadratická odchylka.

Rychlost datového přenosu připojení (download) [kb/s]											
Měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Průměr	Odchylka
T-Mobile 3G	2240	2320	2160	2200	2328	2240	2248	2200	2160	2233	61
Telefonica O2 3G	1376	2160	1920	1720	1520	1840	1920	1800	1520	1753	246
Vodafone 3G	3200	2480	2880	3120	2720	3200	2800	3240	2880	2947	261

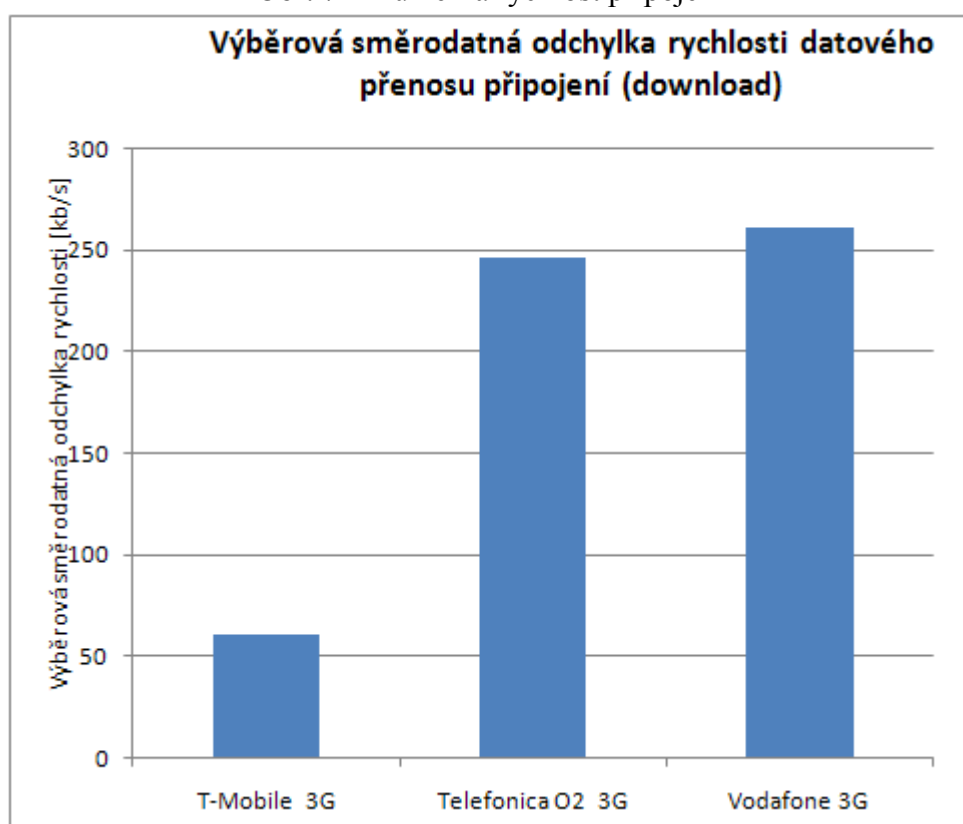
Zdroj: Autor

Obr. 6 - Rychlost datového přenosu připojení



Zdroj: Autor

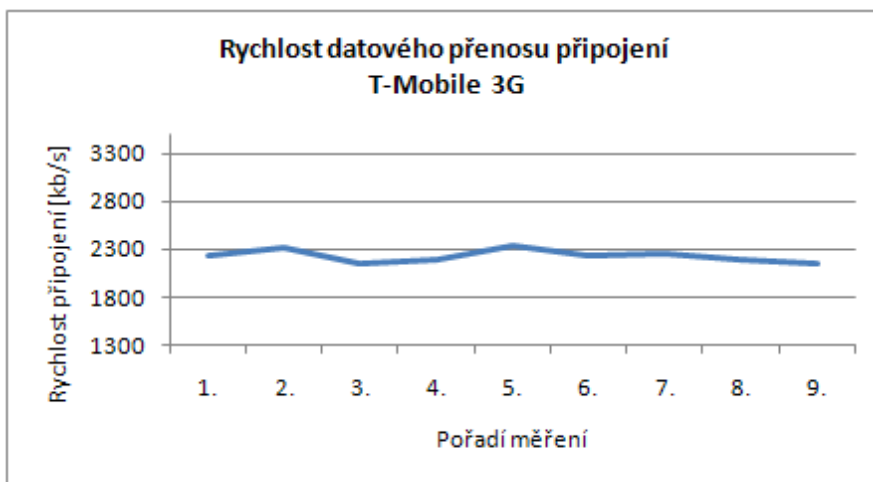
Obr. 7 - Průměrná rychlost připojení



Zdroj: Autor

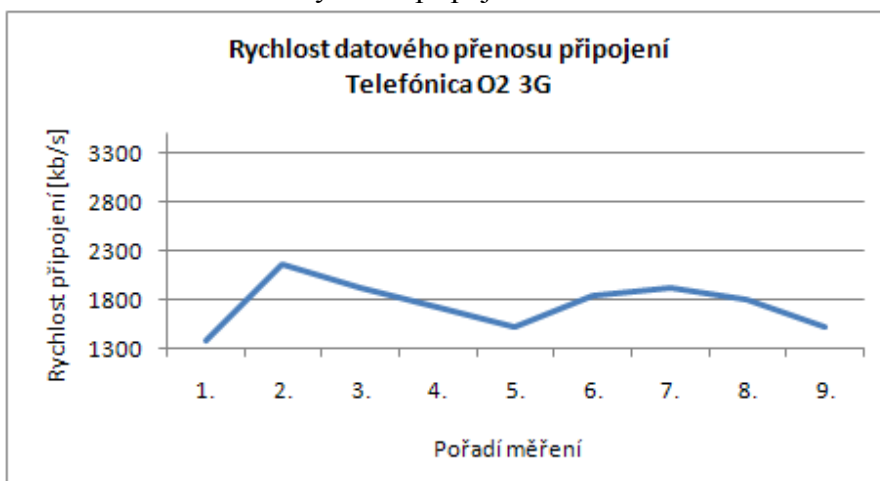
Obr. 8 - Výběrová směrodatná odchylka rychlosti

Na následujících třech grafech je názorně vidět kolísání naměřených hodnot (dílních průměrů) rychlostí datového přenosu v sítích jednotlivých operátorů.



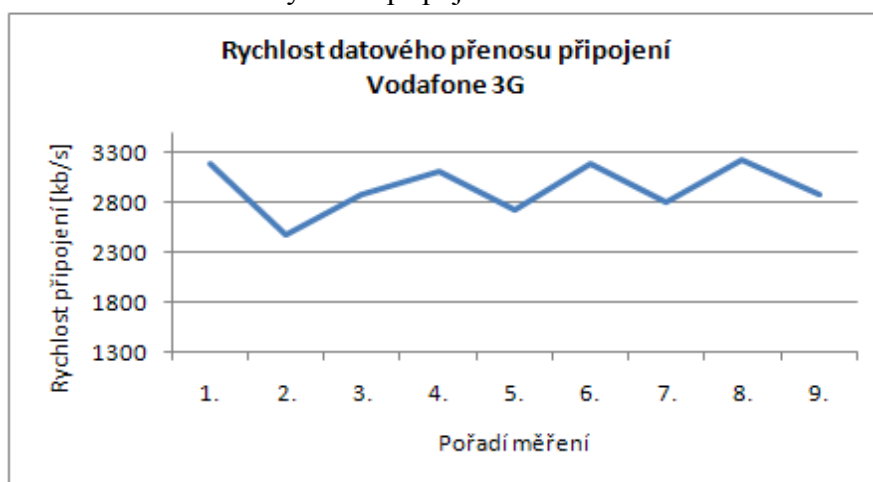
Zdroj: Autor

Obr. 9 - Rychlost připojení T-Mobile 3G



Zdroj: Autor

Obr. 10 - Rychlost připojení Telefónica O2 3G



Zdroj: Autor

Obr 11 - Rychlost připojení Vodafone 3G

Experimentální měření v centru Pardubic ukázalo, že průměrná rychlost datového přenosu (download) se v sítích jednotlivých operátorů pohybuje v rozmezí 1753 ÷ 2947 kb/s. Výběrová směrodatná odchylka rychlosti se pohybuje v rozmezí 61 ÷ 261 kb/s. Nejvyšší průměrná hodnota datového přenosu byla naměřena v síti operátora Vodafone 3G. Bohužel tyto naměřené hodnoty vykazují i největší střední kvadratickou odchylku.

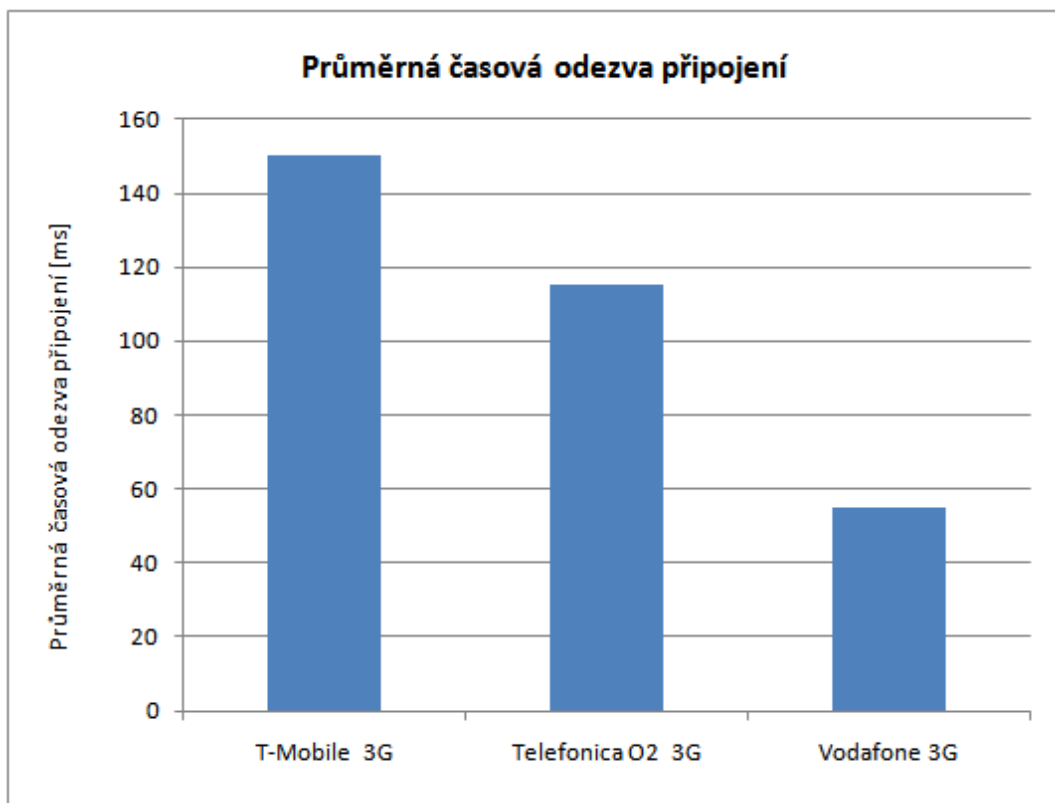
Měření latence připojení

V následující tabulce a grafech jsou uvedeny dílčí průměry naměřených hodnot latencí připojení (ms) v prostředí veřejných mobilních sítí 3G, jejich průměr a střední kvadratická odchylka.

Časová odezva připojení [ms]											
Měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Průměr	Odchylka
T-Mobile 3G	65	79	265	135	155	80	270	220	80	150	83
Telefonica O2 3G	100	115	137	107	112	120	125	105	115	115	11
Vodafone 3G	59	52	54	54	53	57	54	57	59	55	3

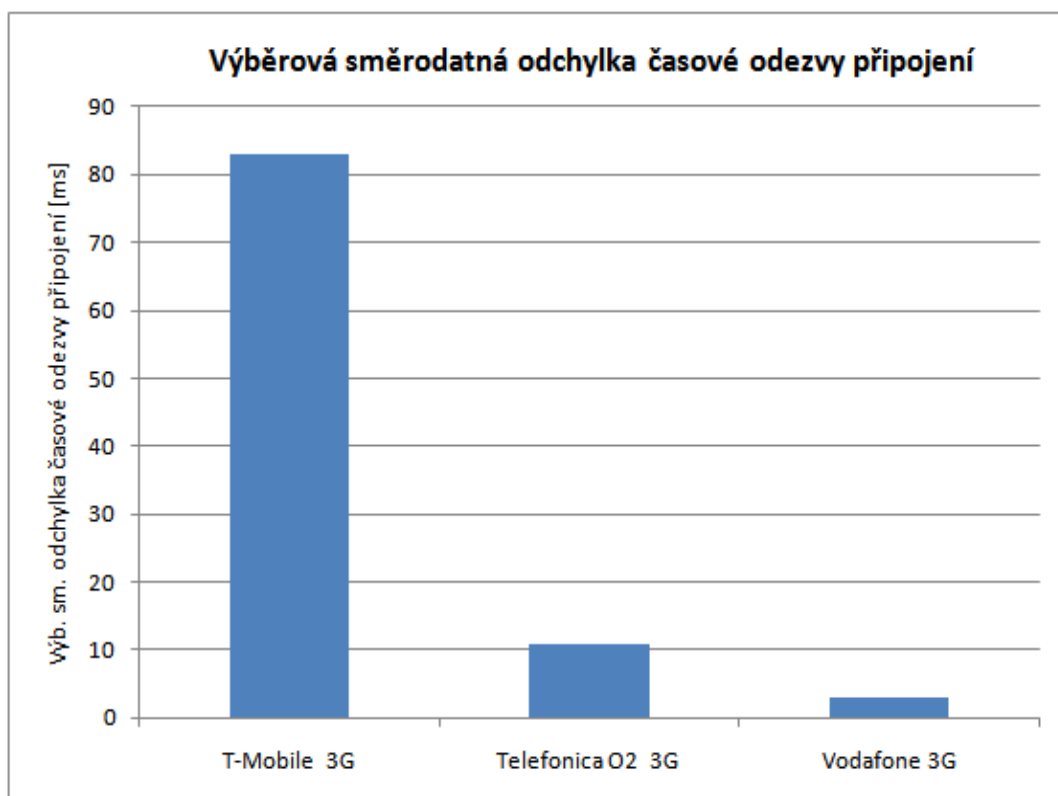
Zdroj: Autor

Obr. 12 - Časová odezva připojení



Zdroj: Autor

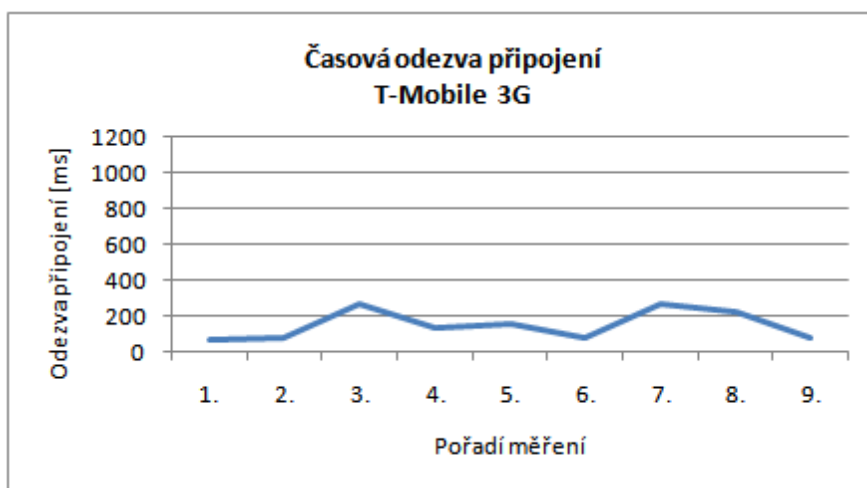
Obr. 13 - Průměrná časová odezva připojení



Zdroj: Autor

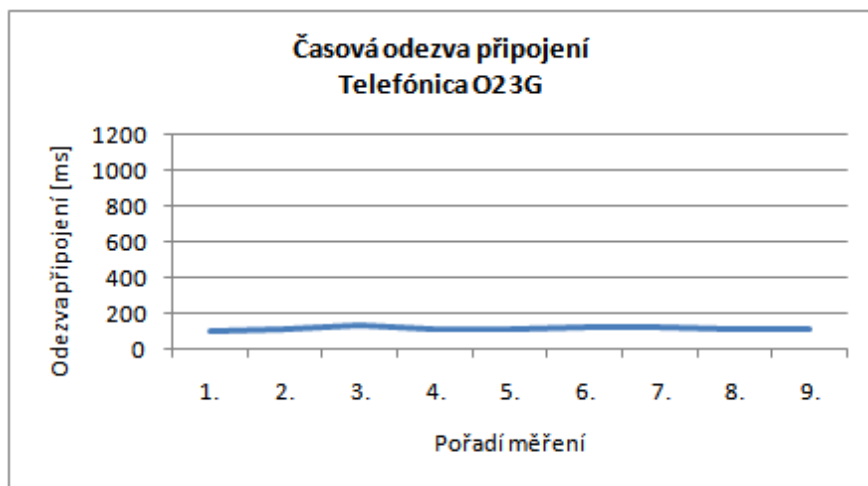
Obr. 14 - Výběrová směrodatná odchylka časové odezvy

Na následujících třech grafech je názorně vidět kolísání naměřených hodnot (dílních průměrů) časových odezev (latenci) v sítích jednotlivých operátorů.



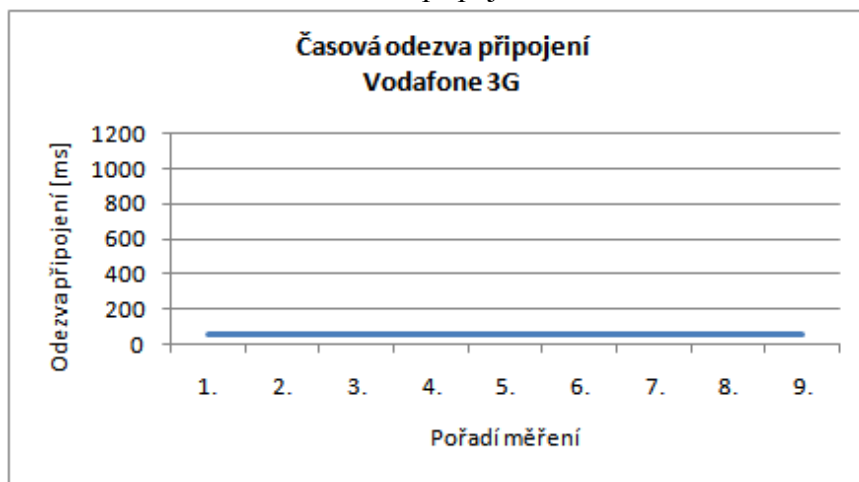
Zdroj: Autor

Obr. 15 - Časová odezva připojení T-Mobile 3G



Zdroj: Autor

Obr. 16 - Časová odezva připojení Telefónica O2 3G



Zdroj: Autor

Obr. 17 - Časová odezva připojení Vodafone 3G

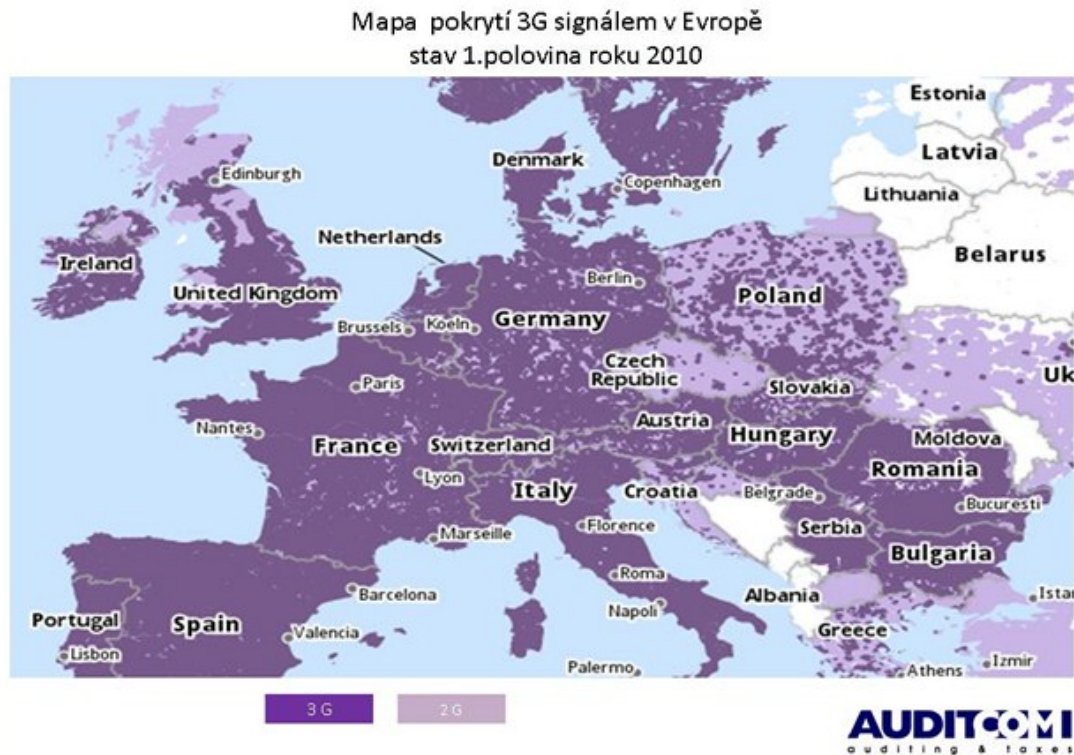
Experimentální měření v centru Pardubic ukázalo, že průměrná časová odezva se v sítích jednotlivých operátorů pohybuje v rozmezí $55 \div 150$ ms. Výběrová směrodatná odchylka latencí se pohybuje v rozmezí $3 \div 83$ ms. Nejnižší hodnota průměrné časové odezvy byla naměřena v síti operátora Vodafone 3G. Tyto naměřené hodnoty vykazují zároveň i nejnižší střední kvadratickou odchylku.

Rychlosti datového přenosu a časové odezvy velmi záleží dané lokalitě. Například ve městě Karlovy Vary v roce 2010 síť 3G operátora Vodafone umožňovala download rychlostí až 7 Mb/s.

4. POKRYTÍ SIGNÁLEM 3G

Nedostatečné pokrytí signálem 3G je v současné době největším problémem této technologie. Z map pokrytí, které jednotliví operátoři poskytují, je zřejmé, že pokrytí území signálem 3G je u všech operátorů přibližně stejné. Pokryta jsou pouze větší města.

Podle zveřejněné mapky na obrázku 18 jsme v pokrytí 3G signálem v Evropě na jednom z posledních míst. Mapku ve své prezentaci na konferenci v Senátu, která měla pomoci řešit problémy současného českého telekomunikačního trhu, zveřejnil Pavel Přeček z firmy Auditcom. Data jsou z poloviny roku 2010 a od té doby se pokrytí několikanásobně zlepšilo. Česká republika je bohužel stále podle Pavla Přečka zhruba na úrovni Ukrajiny.



Zdroj: AUDITCOM

Obr. 18 - Mapa pokrytí - Evropa

5. VYUŽITÍ UMTS V ŘÍDICÍCH A INFORMAČNÍCH SYSTÉMECH V SILNIČNÍ DOPRAVĚ

Stále narůstající provoz a s tím spojená zvyšující se hustota provozu mají vliv na přibývající dopravní kongesce a nehody. Z hlediska významu fungujícího dopravního systému pro společenský a ekonomický vývoj, nabývají systémy řízení dopravy a systémy dopravních informací, jako bezprostřední nástroje řízení, ovlivňování a přesouvání dopravy stále na větším významu. Škoda, kterou způsobují hospodářství dopravní problémy je enormní. V zemích Evropské unie se tato částka pohybuje okolo 2,0 % hrubého národního produktu. Přitom je třeba přihlídnout k tomu, že doprava je komplexní síťový systém, který se dotýká všech oblastí života: hospodářství, struktury osídlení, pracovního trhu a individuálních sociálních potřeb. Každý jedinec i společnost je závislá na dopravě. Prognózy hovoří o dalším zvýšení hustoty silničního provozu na evropských silnicích. Podle některých prognóz je třeba do roku 2010 počítat se zvýšením motorizovaného individuálního provozu asi o 20 %. Nákladní doprava vzroste v příštích 10 letech dokonce až o 40 %. Dálniční síť se

naproti tomu ve stejném časovém období rozšíří pouze o nejvýše 10 %. Rozšíření kapacity silnic ve větším rozsahu je z ekologických a ekonomických důvodů nerealizovatelné.

Nástroje pro řešení dopravní problematiky vidí experti v lepším využití systému infrastruktury, který je k dispozici. Tento cíl může být realizován pouze pomocí spolehlivých a sofistikovaných řídicích a informačních systémů. Zatímco řídicí systémy přímo působí na dopravní proud tím, že ho regulují zastavováním, změnou rychlosti nebo změnou směru, informační systémy poskytují informace a doporučení, která jsou k dispozici účastníkům silničního provozu [6].

Jak je vidět na obrázku 5, technologie UMTS bude dle stávajícího vývoje parametrů, pokrytí a dostupnosti HW v Evropě hlavním prostředkem sloužícím pro bezdrátové datové přenosy. V současné době se bezdrátové datové přenosy velmi často využívají pro řídicí systémy v dopravě a dopravní informační centra. Pro správnou funkci těchto systémů je nutné zajistit bezchybný a rychlý bezdrátový přenos dat. V následujícím odstavci jsou uvedeny příklady přenášených dat s využitím bezdrátových datových přenosů.

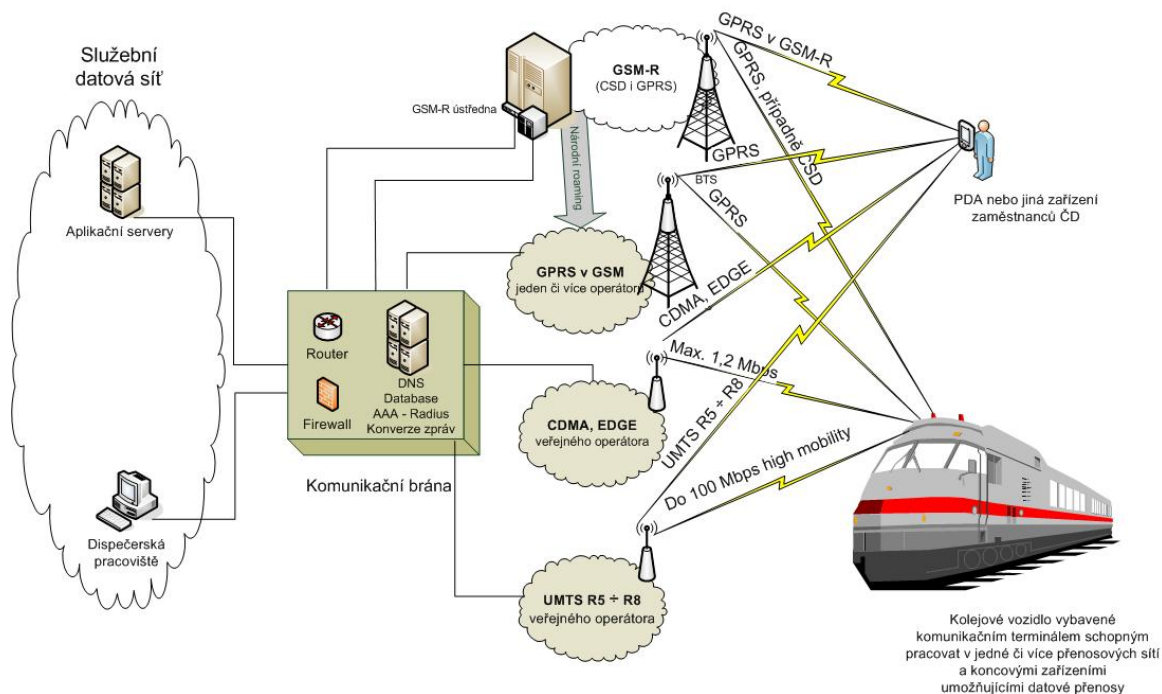
Měření a přenášená data:

- Dopravní sčítače
 - - Intenzita
 - - Obsazenost
 - - Rychlost
 - - Kategorie vozidel
- Měřiče povětrnostních podmínek
 - - Námraza vč. predikce
 - - Množství a druh srážek
 - - Teplota vzduchu
- Liniové řízení dopravy
 - Liniové řízení dopravy využívá řady senzorů umístěných v pravidelných intervalech na pozemní komunikaci. Data jsou zpracovávána v lokálním řídicím systému a jsou využívána pro řízení dopravního proudu proměnnými značkami.
- Tunelové systémy
 - Tunelové systémy jsou vybaveny řadou dopravních a technologických senzorů. Kromě řízení dopravy se může jednat o informace koncentrací škodlivin, měření námrazy nebo informace o režimu tunelu.

6. VYUŽITÍ UMTS V SYSTÉMECH V ŽELEZNIČNÍ DOPRAVĚ

V současné době je využíváno několik různých technologií bezdrátových datových přenosů. V prostředí železnic často vznikají požadavky na zajištění bezdrátových přenosů dat mezi stacionárními objekty a kolejovými vozidly. Potřeby informačních systémů pro bezdrátovou datovou komunikaci s kolejovými vozidly Český drah jsou v současnosti zajištěny integrovaným komunikačním prostředím, které je v prostředí Českých drah označeno jako ŽBPS (železniční bezdrátová přenosová síť). Jedná se o realizovaný koncept národního komunikačního řešení. ŽBPS lze chápat jako množinu přenosových sítí, komunikačních zařízení, rozhraní, protokolů a pravidel pro bezdrátovou komunikaci mezi

objekty na železnici v ČR. Pro bezdrátové datové přenosy je v současné době využívána síť GSM-R a jednotlivé přenosové sítě GSM veřejných operátorů. V blízké budoucnosti bude ŽBPS s největší pravděpodobností využívat technologii UMTS a mohla by vypadat následujícím způsobem:

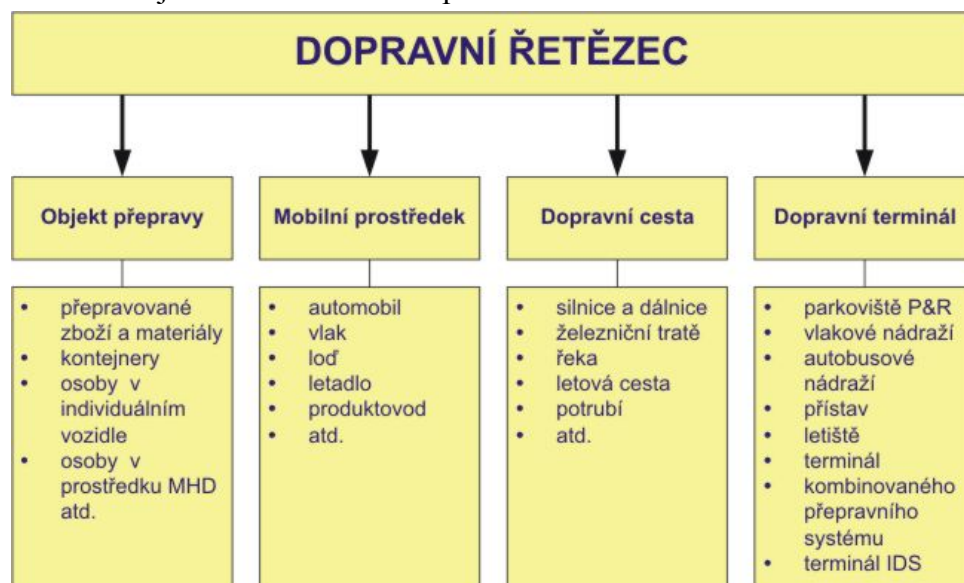


Zdroj: Autor

Obr. 19 - Možné schéma ŽBPS

ZÁVĚR

Na obrázku 20 je uvedeno schéma dopravního řetězce.



Zdroj: Autor

Obr. 20 - Schéma dopravního řetězce

Na celý dopravní řetězec jsou kladeny stále vyšší nároky s důrazem na zvyšování kvality a komfortu dopravy, zajištění mobility, zvyšování bezpečnosti v dopravě, zlepšení služeb v dopravě, podílení se na snižování důsledků negativních dopadů dopravy na životní prostředí a v neposlední řadě zvýšení hospodárnosti a efektivnosti dopravních procesů.

Pozitivní zkušenosti, rychlý vývoj a nasazování této technologie v Evropě (s výjimkou některých zemí) ukazuje, že využívání technologie UMTS v řídicích a informačních systémech dopravy bude zárukou kvality, rychlosti a spolehlivosti.

ZKRATKY

3GPP	- The 3rd Generation Partnership Project
BTS	- Base Transceiver Station
CDMA	- code division multiple access
ERRAC	- European Rail Research Advisory Council
ERTMS	- European Rail Train Management System
ETCS	- European Train Control System
ETSI	- European Telecommunications Standards Institute
HSDPA	- High Speed Downlink Packet Access
HSPA	- High Speed Packet Access
HSUPA	- High Speed Uplink Packet Access
ICOM	- Intelligent Communication Framework
InteGRail	- Projekt Intelligent Integration of Railway Systems
LTE	- Long Term Evolution
UMB	- Ultra Mobile Broadband
UMTS	- Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	- Wideband Code Division Multiple Access
ŽBPS	- železniční bezdrátová přenosová síť

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) BEŠŤÁK, PRAVDA. České vysoké učení technické v Praze, FEL. *Sítě UMTS*. Dostupný z WWW: < <http://access.feld.cvut.cz> >.
- (2) KOLÁŘ, PETR. *Využití vlastností digitálních přenosových sítí pro řízení železničního provozu*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 26/2008.
- (3) MACHÁČEK, MILOSLAV; ŽÁK, DAVID. *Wireless data transmission and information security in the Czech Railways*. Internet, Competitiveness and Organisational Security in Knowledge Society XI. Annual International Conference. Tomas Bata University in Zlin, 24 - 25th March 2009. p. 41. ISBN 978-80-7318-828-3.

- (4) MÁROVEC, A., ŽÁK, DAVID. *Železniční bezdrátová přenosová síť*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 27/2009.
- (5) Portál ČVUT, Fakulta dopravní, katedra řídicí techniky a telematiky. *Definice dopravního řetězce*. Dostupný z WWW: <<http://www.lt.fd.cvut.cz>>.
- (6) Portál Ministerstva dopravy ČR. *Dopravní informační centra*. Dostupný z WWW: <<http://www.mdcz.cz>>.
- (7) RYSAVY RESEARCH LLC. *EDGE, HSPA and LTE Broadband innovation*. September 2008. ISBN 1-541-386-7475. Dostupný z WWW: <<http://www.rysav.com>>.
- (8) ŠUSTR, JIŘÍ. *GSM-R, mobilní komunikační systém pro železnici*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005.
- (9) ŽÁK, DAVID. *Komunikační systém ICOM architektury InteGRail a národní projekt železniční bezdrátové přenosové sítě*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 31/2011.