

Miloslav Macháček¹

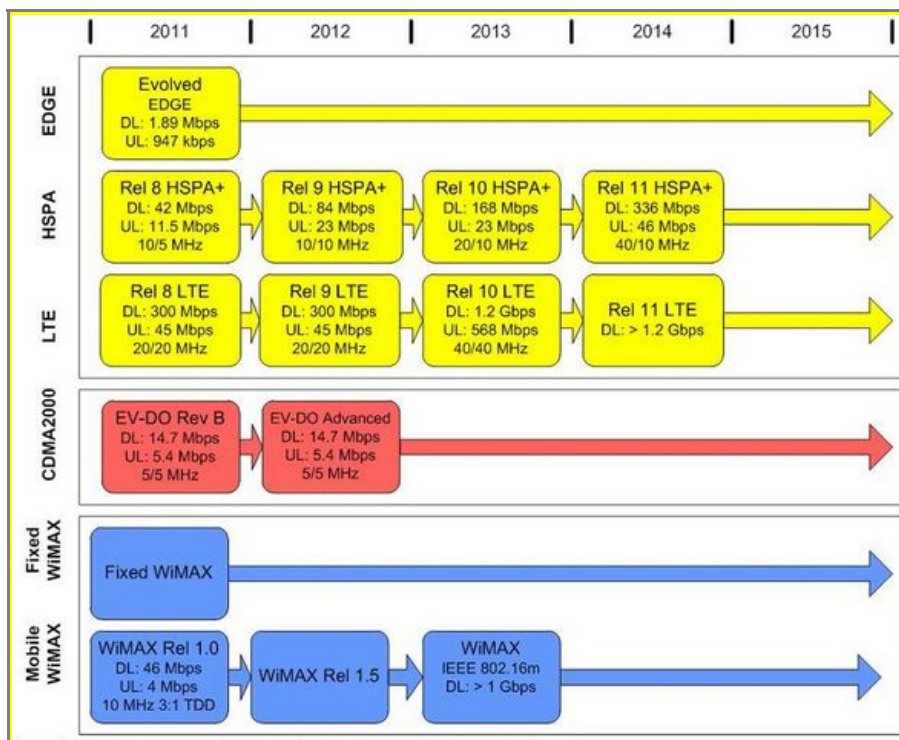
Úvod do problematiky sítí LTE a LTE-Advanced

Klíčová slova: HSDPA, HSPA, HSUPA, LTE, LTE-Advanced, UMTS, latence, download, upload

Úvod

V posledních letech zaznamenáváme nárůst rozvoje mobilních bezdrátových datových přenosů. Nejvíce bezdrátových datových přenosů zajišťují operátoři veřejných mobilních sítí T-Mobile, Telefonica, Vodafone a U:fon. V současné době je využíváno několik různých technologií bezdrátových datových přenosů, na jejichž technologickém vrcholu jsou mobilní datové přenosy UMTS Release 8/9 (LTE) a UMTS Release 10 (LTE-Advanced). V tomto článku bych chtěl přiblížit technologii LTE a LTE-Advanced. Tato technologie v budoucnosti nahradí technologie mobilních bezdrátových datových přenosů, které jsou v dnešní době v prostředí Českých drah používány.

Na obrázku 1 je znázorněn vývoj a porovnání různých mobilních širokopásmových technologií.



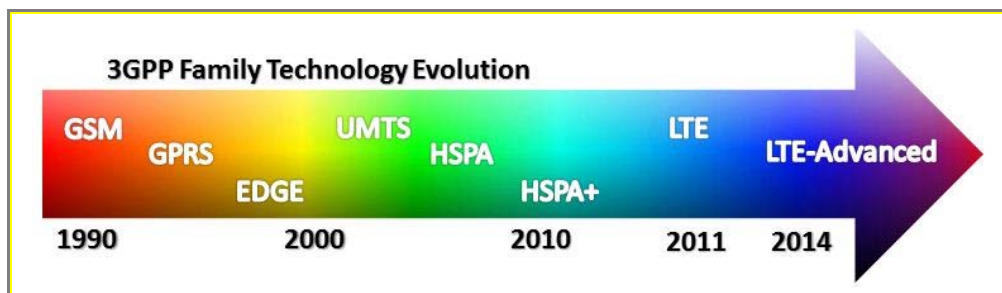
Obrázek 1: Vývoj mobilních širokopásmových technologií, zdroj (<http://www.4gamericas.org>)

¹ Ing. Miloslav Macháček, Ph.D., narozen 1959, Univerzita Pardubice, DFJP, Dopravní prostředky a infrastruktura, nyní Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informačních technologií, Studentská 95, 532 10 Pardubice

Z hlediska počtu uživatelů má pozici číslo jedna na světovém trhu technologie UMTS (odhadem 3,5 mld. uživatelů – žlutá oblast grafu), druhou pozici technologie CDMA2000 (odhadem 430 mil. uživatelů – červená oblast grafu) a třetí pozici zaujímá technologie WiMax (70 mil. uživatelů – modrá oblast).

1. Vývoj UMTS sítí

Sítě UMTS (Universal Mobile Telephone Standard) 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 13. Detaily a popisy v [1]. Tato technologie začíná být technicky zajímavá schválením Release 4. Na obrázku 2 je graficky znázorněn vývoj UMTS sítí.



Obrázek 2: Vývoj UMTS sítí, zdroj (<http://www.4gamericas.org>)

- **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 - 40 Mb/s na downlinku.
- **Release 8/9**
Z pohledu marketingu se tyto sítě nazývají LTE (Long Term Evolution). Udávaná teoretická rychlost je přibližně až 300 Mbit/s na downlinku.
- **Release 10**
Release 10 obsahuje mnoho významných změn. Udávaná teoretická rychlost je přibližně 3 Gbit/s na downlinku. Tyto sítě se nazývají LTE-Advanced.
- **Release 11**
Detail v [2]
- **Release 12**
Detail v [3]
- **Release 13**
Detail v [4]

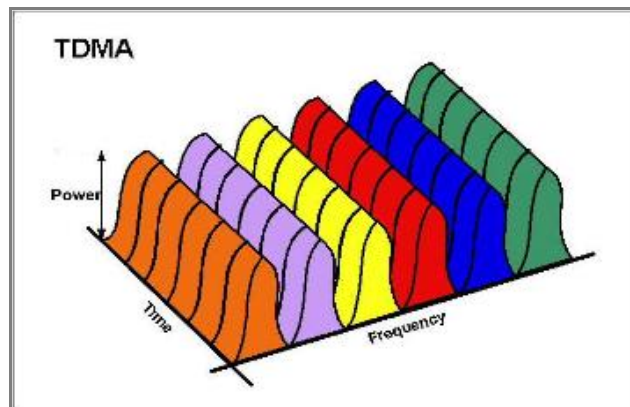
2. Vlastnosti LTE

2.1 Směry přenosu dat

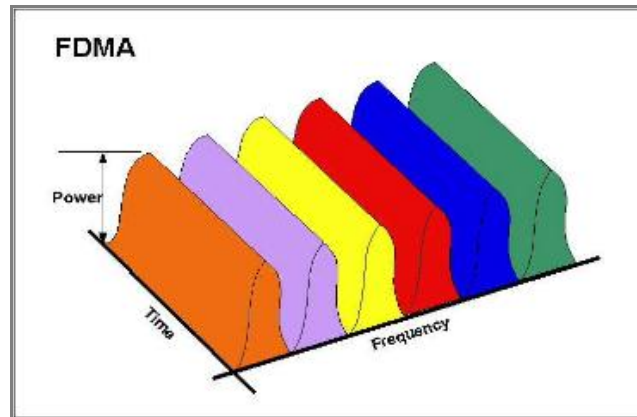
Přenos dat směrem k uživatelům je založen na konvenční modulační technice multiplexování s ortogonálním kmitočtovým dělením (OFDM). Tato technika zajišťuje vysoký stupeň odolnosti vůči frekvenčně selektivním únikům. Poškozený signál lze s vysokou úspěšností na přijímací straně efektivně zpracovat. Složitost zpracování v koncovém zařízení závisí na šířce rádiového kanálu. Velkou výhodou je podpora vícenásobné antény. OFDM umožňuje velkou volnost pro kanálově závislé rozvrhování v porovnání s rozvrhováním v časové oblasti využívané u většiny systémů 3G. Další výhodou je v možnosti flexibilnější šířky pásma a jednoduché realizace všesměrového a výběrového vysílání.

Přenos dat směrem od uživatelů je také založen na OFDM. Zde se používají pro zvýšení účinnosti jiné techniky. Před modulátorem OFDM je využíván kódér DFT. Takto upravený formát se nazývá DFTS-OFDM (DFT-spread OFDM). DFTS-OFDM v LTE umožňuje ortogonální oddělení vysílání ve směru od uživatele také v kmitočtové oblasti. Ortogonální oddělení je výhodnější, protože eliminuje rušení mezi koncovými zařízeními v rámci jedné buňky.

V případě nízkého vysílacího výkonu lze využít u této technologie vícenásobný přístup. Koncovému zařízení se přidělí pouze část z celkově dostupné přenosové kapacity a ve zbývající části spektra může být rozvrženo současné vysílání z dalších koncových zařízení v rámci buňky. Vysílání ve směru od uživatelů dovoluje totiž využít časové dělení (TDMA) i kmitočtové dělení (FDMA) dostupné přenosové kapacity (viz obrázek 3 a 4).



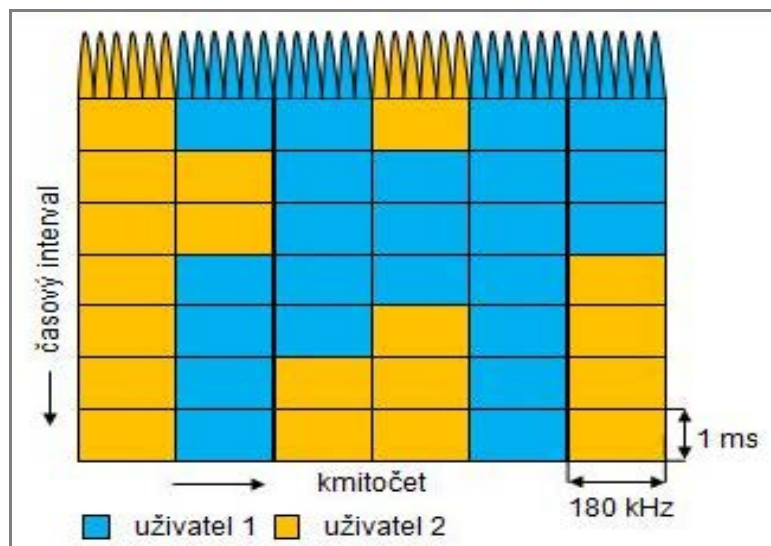
Obrázek 3: TDMA, zdroj (www.ryancomm.net)



Obrázek 4: FDMA, zdroj (www.ryancomm.net)

2.2 Kanálové rozvrhování

Základem vysílání LTE je využití dynamicky sdíleného kanálu v kmitočtové a časové oblasti všemi uživateli v rámci buňky. Rozvrhováním se řídí a organizuje přidělování kmitočtů a časových intervalů sdílených přenosových prostředků. Rozvrhování významně určuje výkonnost systému. Vysílání v obou směrech přenosu je v sítích LTE zajišťováno přesným rozvrhováním dostupných přenosových prostředků podle požadavků uživatelů. Využitím OFDM v obou směrech přenosu se řídí přístup v časové i kmitočtové oblasti viz obrázek 5. Velký význam kanálově závislého rozvrhování v kmitočtové oblasti je při nižších přenosových rychlostech koncových zařízení, kdy se kanál mění v čase pomalu.



Obrázek 5: Rozvrhování, zdroj (<http://www.netguru.cz>)

Nejmenší adresovatelnou informační jednotkou je fyzický zdrojový blok (PRB). Délka je 0,5 ms a obsahuje 12 dílčích kanálů OFDM (využívá pásmo o šířce 12 x 15 kHz = 180 kHz). Základní jednotkou pro rozvrhování je rozvrhovací blok (SB), který obsahuje dva po sobě jdoucí PRB. V sítích LTE lze přenosové prostředky přidělovat v časové oblasti po kroku 1 ms a kmitočtové oblasti po kroku 180 kHz.

Směrem k uživatelům se vysílají referenční signály, které se vrací zpět do sítě (zprávy CSI). Jejich vyhodnocením získáme stav kanálu. Vyhodnocuje se každou 1 ms. V rámci dané buňky se určuje, jakým koncovým zařízením, na jakém kmitočtu a v jakém časovém intervalu bude dovoleno vysílat a jaké vysílací parametry, včetně přenosové rychlosti mají být použity.

2.3 Sousední buňky

V LTE mohou být použity v sousedních buňkách stejné prostředky v časové i kmitočtové oblasti. Základní řídicí kanály jsou navrženy tak, že fungují i při nízkém poměru signál-rušení (SIR). Kmitočty lze opětovně použít i v sousedních buňkách.

Výkonnost systému na okrajích buňky se slabým pokrytím se zlepšuje pomocí koordinace rozvrhování mezi buňkami. Základním cílem koordinace rušení mezi buňkami (ICIC) je eliminace souběžného rozvrhování vysílání (k uživateli/od uživatele) mezi koncovými zařízeními v okrajových oblastech vzájemně sousedících buněk, kde dochází největšímu rušení.

Koordinaci rušení zajišťuje několik zpráv přenášených mezi základnovými stanicemi eNodeB prostřednictvím rozhraní X2. Tyto zprávy poskytují informace o rušení a strategii rozvrhování eNodeB odesílajícího zprávu a mohou být použity přijímajícím eNodeB jako vstup do jeho procesu rozvrhování.

2.4 Hybridní ARQ

Hybridní ARQ (HARQ) s měkkým kombinováním se v sítích LTE používá v případě chybně přijatých transportních bloků. Opětovné vysílání lze požadovat po každém odeslaném paketu. Chybné pakety se ukládají do databáze přírůstkové redundance. Tyto pakety poskytují určitý specifický informační obsah. Opakovaně vysílané bloky se pomocí techniky měkkého kombinování vhodně sdružují s bloky uloženými v databázi. Tímto opatřením se snižuje počet opakování a zvyšuje se pravděpodobnost úspěšného dekódování.

2.5 Vysílání více anténami

Hlavním důvodem použití více antén je dosažení mnohem vyšší výkonnosti LTE. Vysílání více anténami se používá k následujícím účelům:

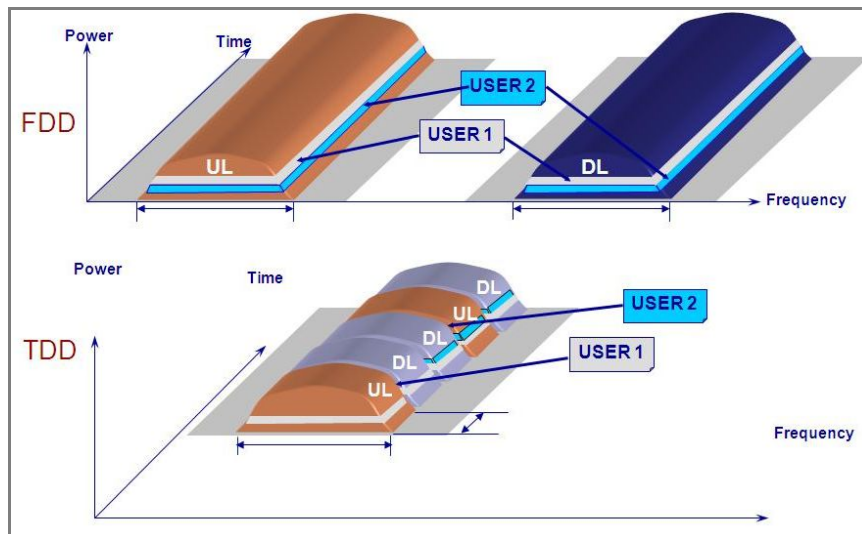
- Zajištění přijímací diverzity (zpracování kvalitnějšího signálu z antén).
- Zajištění vysílací diverzity (zlepšení přijímaného poměru signálů vůči rušení a šumu).
- Zajištění prostorové diverzity (prostorové multiplexování popisované jako MIMO).

Platí, že pro různé scénáře jsou vhodné různé techniky vícenásobné antény.

2.6 Flexibilita kmitočtového spektra

Významnou charakteristikou technologie rádiového přístupu LTE je možnost vysoké flexibility kmitočtového spektra. LTE se může provozovat v různých kmitočtových pásmech s různými charakteristikami, včetně různých duplexních uspořádání a různých šířkách dostupného kmitočtového spektra. Systémy LTE je možno zavádět v párovaných i nepárovaných kmitočtových pásmech. LTE podporuje

duplex s kmitočtovým dělením (FDD) i duplex s časovým dělením (TDD) viz obrázek 6.



Obrázek 6: FDD a TDD, zdroj (<http://tutorials.telecomseva.com>)

LTE podporuje v koncových zařízeních také poloduplexní FDD. Vysílání a příjem v koncových zařízeních je odděleno v kmitočtové i časové oblasti. Využitím poloduplexního FDD je možno snížit složitost koncového zařízení.

Významnou vlastností LTE je možnost přenosu v různých šířkách kmitočtového pásma v obou směrech přenosu. Dostupné kmitočtové spektrum pro zavádění služeb LTE se v různých zemích u operátorů značně liší. Provoz v různých kmitočtových pásmech umožňuje postupnou migraci kmitočtového spektra LTE do uvolněných kmitočtových pásem.

Další důležitou vlastností LTE je, že může být provozováno v několika užších kmitočtových pásmech současně. Maximální dosažitelná přenosová rychlost je v tomto případě však nižší.

2.7 Výběrové a všesměrové vysílání

LTE umožňuje vysílání současně z několika vysílacích stanic (buněk). Koncové zařízení pak může efektivně využívat signál z několika vysílacích stanic. Při vysílání synchronizovaných identických signálů z několika vysílacích stanic se signál bude koncovému zařízení jevit stejně jako signál vysílaný z jedné buňky a podstatně se zvýší přenosová rychlost. Díky odolnosti OFDM vůči vícecestnému šíření (multibuňkové vysílání) je možné zlepšit úroveň přijímaného signálu a eliminovat vzájemné rušení mezi buňkami. Výkon multibuňkového výběrového a všesměrového vysílání je limitován pouze šumem.

3. Vlastnosti LTE-Advanced

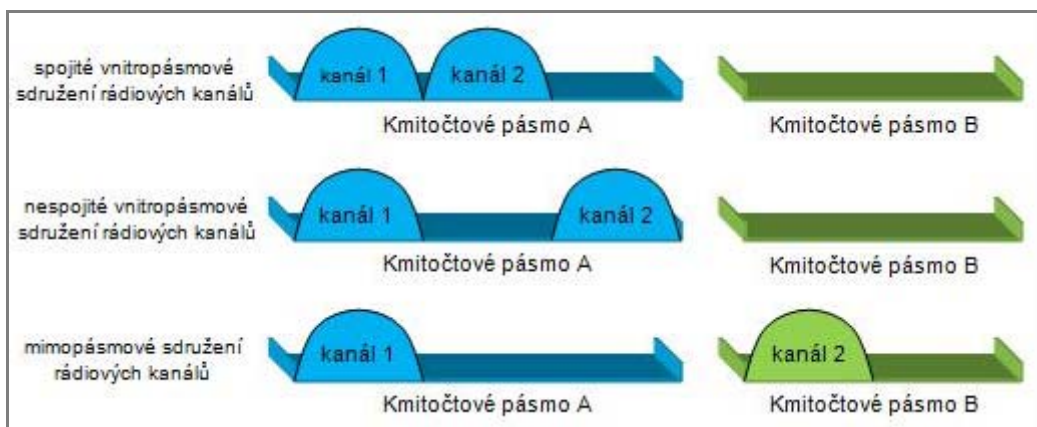
LTE vydání 10 mění název LTE na LTE-Advanced. Toto vydání zajišťuje, aby technologie rádiového přístupu LTE plně odpovídala požadavkům IMT-Advanced. Důležitým požadavkem vydání 10 je zpětná kompatibilita koncových zařízení. Koncová zařízení podle dřívějších vydání budou vždy schopna přístupu

k základnovým stanicím podporující LTE vydání 10. Dále byly pro LTE-Advanced vyčleněny další kmitočtová pásma (450 až 470 MHz, 698 až 862 MHz, 790 až 862 MHz, 2,3 až 2,4 GHz, 3,4 až 4,2 GHz a 4,4 až 4,99 GHz).

LTE-Advanced vylepšuje flexibilitu kmitočtového spektra pomocí sdružení několika rádiových kanálů, rozšiřuje možnosti vícenásobné antény, zavádí podporu retranslace a vylepšuje koordinaci vzájemného rušení mezi buňkami a zavádí vícenásobné pokrytí heterogenní sítě.

3.1 Sdružení rádiových kanálů

První vydání LTE zahrnovalo podporu pro přidělování různých kmitočtových pásem s šířkou pásma v rozsahu od 1 MHz do 20 MHz pro párovaná i nepárovaná pásma. Od LTE vydání 10 je rozsah šířky rádiového kanálu rozšířen prostřednictvím agregace rádiových kanálů (Carrier Agregace). Celkem může být sdruženo až pět jednotlivých (kompozitních) rádiových kanálů, které mohou využívat různá kmitočtová pásma. Agregovaný rádiový kanál může mít šířku až 100 MHz. Koncové zařízení podle LTE vydání 8/9 z důvodu kompatibility bude jednotlivý rádiový kanál využívat jako samostatný rádiový kanál. Koncové zařízení s možností agregace rádiových kanálů bude moci využívat větší šířku kmitočtového pásma. Tímto bude dosahováno vyšších přenosových rychlostí. Agregovat lze různý počet rádiových kanálů (viz obrázek 7). Takto budou moci operátoři sdružovat jednotlivé rádiové kanály v různých kmitočtových pásech (např. 900, 1800, 2100, 2600 MHz) do jednoho agregovaného rádiového kanálu.



Obrázek 7: Agregace kanálů, zdroj (<http://www.netguru.cz>)

3.2 Vícenásobná anténa

V LTE vydání 10 je prostorové multiplexování ve směru k uživatelům rozšířeno na podporu až osmi přenosových vrstev. S využitím sdružení rádiových kanálů je umožněna přenosová rychlost ve směru k uživateli až 3 Gb/s. Prostorové multiplexování je ve směru od uživatele rozšířeno na podporu až čtyř přenosových vrstev. Ve směru od uživatele je umožněna přenosová rychlosti až 1,5 Gb/s.

3.3 Koordinace vysílání a příjmu několika buněk v LTE-Advanced

Koordinace vysílání a příjmu několika buněk (CoMP) využívá techniky dynamické koordinace při současném vysílání nebo příjmu oddělených základnových

stanic. V LTE-Advanced je koordinace využita z hlediska rozvrhování při vysílání základnových stanic z různých vysílacích stanovišť. Přesnou koordinací mezi vysíláním různých základnových stanic se dosáhne vyšší výkonnosti, vyšší přenosové rychlosti a dosáhne se účinnější koordinace rušení mezi buňkami. Techniku CoMP lze použít i ve směru od uživatele. V tomto případě několik základnových stanic přijímá současně signály z jednoho nebo více koncových zařízení. CoMP ve směru od uživatele. Jedná se o období předávání - handover použitému v technologicky starších sítích WCDMA.

3.4 Zhodnocení LTE-Advanced

LTE podle vydání 10, které je označováno jako LTE-Advanced, přináší vysoce flexibilní rádiové rozhraní. V řadě případů je nad požadavky IMT-Advanced.

Teprve LTE vydání 10 je však technologie 4G. Operátor, který nabídne LTE-Advanced může hovořit o skutečné mobilní síti 4G.

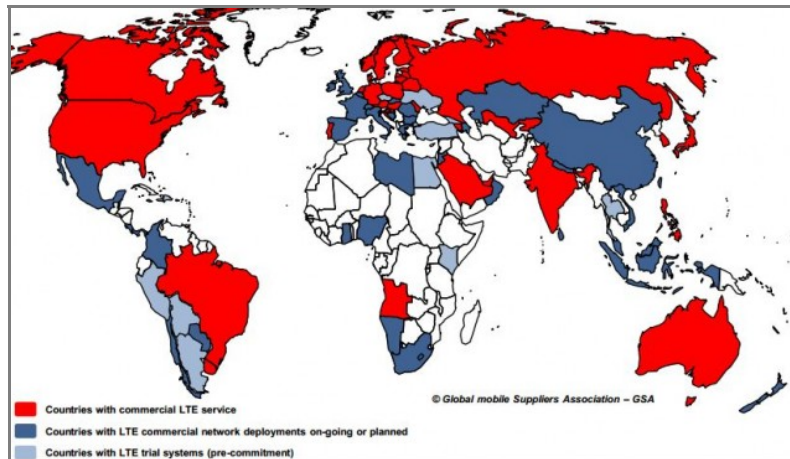
4. Technologie LTE ve světě

Technologie LTE byla v Evropě jako první komerčně spuštěna ve Švédsku a následně v dalších zemích. Ve Švédsku je zprovozněno více než 600 základnových stanic BTS s technologií LTE.

Na obrázku 8 je seznam evropských zemí a operátorů, kteří provozují LTE sítě včetně data jejich spuštění a na obrázku 9 je zobrazena mapa pokrytí technologií LTE ve světě.

Country	Operator	Launch
Norway	TeliaSonera	14.12.09
Sweden	TeliaSonera	14.12.09
Uzbekistan	MTS	28.07.10
Uzbekistan	UCell	09.08.10
Poland	Aero2/Mobyland/CenterNet (LTE TDD from 10.05.11)	07.09.10
Finland	DNA	13.12.11
Austria	A1 Telekom	05.11.10
Sweden	TeleNor Sweden	15.11.10
Sweden	Tele2 Sweden	15.11.10
Sweden	3 Sweden	23.04.12
Finland	TeliaSonera	30.11.10
Germany	Vodafone	01.12.10
Latvia	LMT	31.05.11
Finland	Elisa	08.12.10
Denmark	TeliaSonera	09.12.10
Estonia	EMT	17.12.10
Germany	O2	01.07.11
Germany	Deutsche Telekom	05.04.11
Austria	T-Mobile	28.07.11
Lithuania	Omnitel	28.04.11
Hungary	T Mobile	01.01.12
Denmark	TDC	10.10.11
Austria	3	18.11.11
Netherlands	Ziggo	03.05.12
Russia	Yota	15.01.12
Croatia	T Mobile/T-Hrvatski Telekom	23.03.12
Croatia	VIPNet	23.03.12

Obrázek 8: LTE v evropských zemích, zdroj (<http://www.onbile.com>)



Obrázek 9: LTE ve světě, zdroj (<http://www.onbile.com>)

LTE je často nesprávně označováno jako mobilní síť 4G. Důvodem je skutečnost, že LTE (Release 8/9) nespĺňuje všechny požadavky, které ITU (Mezinárodní telekomunikační unie) klade na 4G. Až LTE-Advanced je možno správně označit jako 4G, protože je dosahováno rychlosti více než 100 Mbit/s za pohybu a 1 Gbit/s, pokud se uživatel nepohybuje. Z tohoto důvodu někteří operátoři nehovoří o LTE jako o technologii 4G.

Významnou vlastností LTE je skutečnost, že je využíváno pouze pro datové přenosy. O hlasových službách se zatím nehovoří.

Další velkou neznámou je problematika koncových zařízení. LTE lze provozovat na různých frekvenčních pásmech. V USA se používají pásma 700 MHz a 2100 MHz. V České republice se počítá s pásmy 800 MHz, 1800 MHz a 2,6 GHz. Koncová zařízení nebudou vzájemně využitelná.

Technologie LTE podle vydání 10, která je označovaná jako LTE-Advanced, přináší vysoce flexibilní rádiové rozhraní. V řadě případů je nad požadavky IMT-Advanced. Teprve LTE Release 10 je však skutečná technologie 4G. Operátor, který nabídne LTE-Advanced může oprávněně hovořit o mobilní síti 4G.

5. Technologie LTE na území České republiky

O pokrytí území ČR signálem LTE je v dnešní době lepší nehovořit. Jsme teprve na začátku, daleko za ostatními zeměmi EU. LTE bylo v ČR spuštěno 19. 6. 2012. Prvenství získala Telefónica ČR. Jedná se o pokrytí signálem LTE v Jesenici u Prahy. V této lokalitě byly zprovozněny 4 základnové stanice (v případě LTE hovoříme o eNodeB) s využitím frekvenčního kanálu o šířce 10 MHz v pásmu 1800 MHz. Telefónica při spuštění dosáhla rychlosti 66 Mbit/s downloadu, 20 Mbit/s uploadu a odezvy 22 ms. Tyto hodnoty byly naměřeny v [11] pomocí interaktivního testu rychlosti širokopásmového připojení od Ookla.

Druhé město, ve kterém funguje mobilní datová síť LTE, je Mladá Boleslav. T-Mobile dne 15. 11. 2012 pokryl toto město signálem LTE. Pokrytí je zajištěno 19 vysílači umístěnými v Mladé Boleslavi a Kosmonosech. Síť LTE v Mladé Boleslavi využívá pásmo o šířce 2x10 MHz v rámci frekvence 1 800 MHz. Dobré měření rychlostí LTE (T-Mobile v Mladé Boleslavi) provedl pan Martin Pultzner a Jan Pospíšil v [15]. Bylo provedeno 25 měření v různých částech města s různě silným signálem.

Průměrné hodnoty naměřených hodnot jsou následující: 33,81 Mb/s download, 14,21 Mb/s upload a 33,4 ms latence. Vzhledem ke stávajícím rychlostem mobilních bezdrátových datových přenosů v ČR se jedná je velice slušné výsledky dosažené v reálném provozu.

Operátor Vodafone mobilní datovou síť LTE zatím nenabízí. V roce 2012 vydal následující prohlášení: "LTE plánujeme spustit a využít zahraničních zkušeností v rámci skupiny Vodafone, kde je již komerčně v provozu. Uděláme to ale seriózně, ne jen jako marketingové pozlátko."

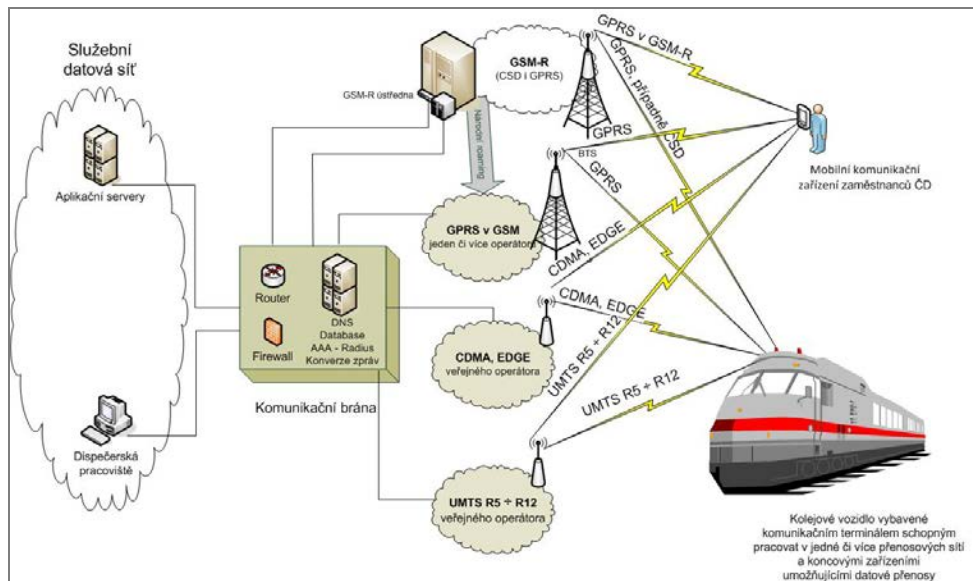
Dne 8. 3. 2013 Český telekomunikační úřad zastavil aukci kmitočtů pro síť LTE. Důvodem byly příliš vysoké nabídky operátorů, které se vyšplhaly z vyvolávací ceny 7,4 miliardy korun na více než 20 miliard korun. Aukce kmitočtů začala již v polovině listopadu loňského roku a probíhala tak již téměř čtyři měsíce. V zahraničí přitom podobné aukce úspěšně skončily za necelý měsíc (Německo, Velká Británie). V srpnu 2013 vyhlásil Český telekomunikační úřad novou aukci kmitočtů pro síť LTE. Do aukce kmitočtů v pásmech 800, 1800 a 2600 MHz se vedle Vodafone přihlásila Telefónica, T-Mobile, Revolution Mobile a Sazka Telecommunications. Situace se bohužel opět komplikuje. Telefónica podmínky aukce, zejména vyhrazení části pásma 800 MHz pro nové uchazeče napadla u soudu a stěžovala si i u ÚOHS. U Evropské komise aukci napadla jak Telefónica, tak i T-Mobile. V pátek 25. 10. 2013 uvedla mluvčí Vodafone Markéta Kuklová, že mobilní operátor Vodafone napadl aukci kmitočtů pro rychlé mobilní síť LTE žalobou a obrátil se i na antimonopolní úřad a Evropskou komisi. Požaduje odklad soutěže až po analýze trhu a stanovení transparentních podmínek.

6. Možnosti využití LTE a LTE-Advanced v řídicích a informačních systémech ČD

6.1 Železniční bezdrátová přenosová síť od ČD - telematika

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). 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 budoucnosti bude ŽBPS s největší pravděpodobností využívat mobilní datové přenosy UMTS Release 8/9 (LTE) a UMTS Release 10 (LTE-Advanced). Na obrázku 10 je zobrazena ŽBPS tak, jak by mohla v budoucnosti vypadat.



Obrázek 2: Možné schéma ŽBPS, zdroj (Autor)

6.2 Palubní portál a připojení k internetu pro cestující ČD

V 7 vlacích SC Pendolino lze využívat zdarma službu bezdrátového připojení k internetu pomocí technologie WiFi. Po spuštění internetového prohlížeče se automaticky zobrazí úvodní stránka palubního portálu. Je umožněno využívat vnitřní palubní portál nebo volný přístup na internet. Palubní portál pro informace i zábavu nabízí:

- Podrobné informace o jízdě vlaku (poloha vlaku na mapě, rychlost vlaku, čas zbývající do cílové stanice, aktuální počasí v jednotlivých stanicích, mimořádnosti na trati)
- Informace o přípojích v nácestných stanicích
- Zajímavosti na trase s tipy na volnočasové aktivity
- Služby na palubě
- Doplnkové služby
- Online kamery umístěné na obou stanovištích strojvedoucího
- Aktuální zpravodajství
- Hry
- Elektronické knihy

Připojení do internetu je realizováno pomocí nejlepších dostupných technologií. Jsou využívány technologie mobilních datových přenosů všech stávajících mobilních operátorů současně s výjimkou operátora U:fon. Bohužel pokrytí kvalitním signálem mobilních operátorů není po celé trase dostatečné. Při testování bylo zjištěno, že IP adresa se za jízdy nemění. Vlak celou dobu drží jednu IP adresu. Rychlost v obydlených oblastech byla větší jak 2Mb/s. Bohužel v neobydlených oblastech docházelo k poklesu rychlosti a krátkodobým výpadkům. Pokrytí některých oblastí signálem 3G jednotlivých operátorů je nulové.

Pro umožnění přístupu k internetu a využívání této služby všem cestujícím v dostatečné kvalitě, je blokován přístup na webové stránky, které připojení k internetu výrazně vytěžují. Jedná se především o stránky pro aktualizaci operačních systémů a software a stránky, které poskytují streamování videa.

Regionální vlaky mají v porovnání s vlaky Pendolino jen jednoduchý "jedno operátorový" internet.

V případě pokrytí kvalitním signálem LTE nebo LTE-Advanced problémy s rychlostí internetu nebudou existovat (datová propustnost LTE je v porovnání s 3G nesrovnatelně větší).

Využívání technologie LTE ve vlacích v ČR nebude pravděpodobně v budoucnu zcela bez problémů. Při využívání technologie LTE ve vlacích v Rakousku nastávají v současné době vážné problémy s rušením způsobovaným LTE modemy v soupravách RailJet.

7. Závěr

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

Situace s pokrytím signálem UMTS Release 8/9 (LTE) je ještě horší. Pokryto je pouze několik míst. Jedná se o Mladou Boleslav, Jesenici u Prahy, Kamýk a několik málo budov jako například obchodní centrum Chodov.

V současné době lze hovořit o velmi pomalém nástupu technologie LTE na území ČR.

Seznam zkratk

3GPP	- The 3rd Generation Partnership Project
3G síť	- síť třetí generace
4G síť	- síť čtvrté generace
BTS	- Base Transceiver Station
CDMA	- Code Division Multiple Access
CoMP	- Coordinated Multipoint transmission and reception
CSI	- Channel State Information
DFT	- Discrete Fourier Transform
FDMA	- Frequency Division Multiple Acce
FDD	- Frequency Division Duplex
GSM	- Global System for Mobile
GSM-R	- Global System for Mobile Communications-Railway
HARQ	- hybrid automatic repeat request
HSDPA	- High Speed Downlink Packet Access

HSPA	- High Speed Packet Access
HSUPA	- High Speed Uplink Packet Access
ICIC	- Inter Cell Interference Coordination
IMT-Advanced	- International Mobile Telecommunications-Advanced
LTE	- Long Term Evolution
LTE-ADVANCED	- Long Term Evolution Advanced
MIMO	- Multiple Input Multiple Output
OFDM	- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PRB	- Physical Resource Block
SB	- Scheduling Block
SIR	- Signal Interference Ratio
TDD	- Time-Division Duplex
TDMA	- Time Division Multiple Access
UMB	- Ultra Mobile Broadband
UMTS	- Universal Mobile Telecommunication Systém
ÚOHS	- Úřad pro ochranu hospodářské soutěže
WCDMA	- Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	- Worldwide Interoperability for Microwave Access
ŽBPS	- železniční bezdrátová přenosová síť

Literatura:

- [1] 3GPP. *The Mobile Broadband Standart* [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gpp.org/>>.
- [2] 3GPP. *Release 11* [online]. 26. 09. 2013 [cit. 2013-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gpp.org/Release-11>>.
- [3] 3GPP. *Release 12* [online]. 10. 10. 2013 [cit. 2013-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gpp.org/Release-12>>.
- [4] 3GPP. *Release 13* [online]. 03. 10. 2013 [cit. 2013-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gpp.org/Release-13>>.
- [5] BEŠŤÁK, PRAVDA. České vysoké učení technické v Praze, FEL. *Sítě UMTS* [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: < <http://access.feld.cvut.cz>>.
- [6] HRSTKA, Jaroslav. *Mobilní komunikace, každodenní součást našich životů* [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: < <http://www.netguru.cz> >.

- [7] KOLÁŘ, Petr. *Využití vlastností digitálních přenosových sítí pro řízení železničního provozu*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 26/2008.
- [8] 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.
- [9] MÁROVEC, A., ŽÁK, David. *Železniční bezdrátová přenosová síť*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 27/2009.
- [10] PETERKA, Jiří. *Archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.eearchiv.cz>>.
- [11] PETERKA, Jiří. *LTE v ČR: jedno promile na opojení nestačí* [online]. 20. 06. 2012 [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/lte-v-cr-jedno-promile-na-opojeni-nestaci>>.
- [12] Portál ACRI. *ŽBPS: Železniční bezdrátová přenosová síť od ČD – Telematika* [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.acri.cz>>.
- [13] Portál ČD. *Palubní portál a připojení k internetu zdarma* [online]. 01. 02. 2013 [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.cd.cz>>.
- [14] Portál ČD. *Internet míří do dalších expresů Českých drah* [online]. 20. 12. 2012 [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.cd.cz>>.
- [15] PULTZNER, Martin; POSPÍŠIL, Jan. *Vyzkoušeli jsme LTE v Mladé Boleslavi - opravdový Datan Fofrič* [online]. 30. 01. 2013 [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.mobilenet.cz/clanky/vyzkouseli-jsme-lte-v-mlade-boleslavi-opravdovy-datan-fofric-11089>>.
- [16] RYSAVY RESEARCH LLC. *EDGE, HSPA and LTE Broadband innovation* [online]. September 2008 [cit. 2013-03-08]. ISBN 1-541-386-7475. Dostupný z WWW: <<http://www.rysavy.com>>.
- [17] ŠUSTR, Jiří. *GSM-R, mobilní komunikační systém pro železnici*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005.

Praha, listopad 2013

Lektorovali: Ing. Martin Šrotýř (ČVUT, Fakulta dopravní)

prof. Ing. Simon Karamazov, Dr.
(Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky)
Ing. David Pírko
(spol. You Can a spol. Pears HealthCyber)