

Analýza a porovnanie technológií poskytujúcich dátové služby mobilných operátorov

Igor Košík

Bakalárska práca
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Igor Košík**

Osobní číslo: **A13168**

Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Analýza a porovnání technologií poskytujících datové služby mobilních operátorů**

Téma anglicky: **An Analysis and Comparison of Technologies Providing Data Services for Mobile Operators**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Popište vlastnosti přenosových médií používanými mobilními operátory.
3. Objasněte nejčastější problémy při budování sítí z pohledu poskytovatele.
4. Vyhodnoťte přenosové rychlosti a ceny připojení jednotlivých datových připojení.
5. Porovnejte způsoby poskytování internetových služeb z pohledu koncového zákazníka.

Rozsah bakalářské práce: -
Rozsah příloh: -
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KUROSE, James F. a Keith W. ROSS. Počítačové sítě. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 622 s. ISBN 978-80-251-3825-0.
2. DOSTÁLEK, Libor a Alena KABELOVÁ. Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 426 s. ISBN 80-7226-323-4.
3. Fony.sk. 3G (UMTS) [online]. Trnava, 2009 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <http://www.fony.sk>
4. Fony.sk. Ako fungujú GSM siete [online]. Trnava, 2013 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.fony.sk>
5. Mobilizujeme.cz. Technologie mobilního internetu od CSD po LTE Advanced (vědecké okénko)[online]. Praha, 2012 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <http://www.mobilizujeme.cz>
6. Mobilmania.azet.sk. Telekom spúšťa 300 Mbit/s dátovú sieť, pracuje na VoLTE aj LTE roamingu [online]. Žilina, 2015 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.azet.sk>
7. Mobilmania.azet.sk. Test: Čo dokážu mobilné siete za jazdy [online]. Žilina, 2012 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.azet.sk>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Matýsek, Ph.D.**
Ústav počítačových a komunikačních systémů
Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2016**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2016**

Ve Zlíně dne 19. února 2016



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 23. 5. 2016

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Predmetom tejto práce je analýza technológií, ktoré využívajú mobilní operátori na telekomunikačnom trhu v Slovenskej a Českej republike. Spomenuté sú ich najdôležitejšie služby, pričom je kladený dôraz najmä na poskytovanie dátových služieb. Predmetom skúmania sú napríklad mobilné, optické a metalické siete. Skúmané sú hlavne z pohľadu architektúry siete, dosahovaných rýchlostí a ich budúceho vývoja. Následne je predmetom nasledujúcej časti práce porovnanie skutočných prenosových rýchlostí a cien na telekomunikačnom trhu oboch krajín.

Kľúčové slová: 2G, 3G, 4G, LTE, Optické vlákno, xDSL

ABSTRACT

The subject of this thesis is to focus on technologies used by mobile operators on telecommunications markets in the Slovak and Czech Republic. Their most important services are mentioned, mainly providing of data services. The subject of the research are mobile, optical and cooper networks. Especially the architectures of networks, reaching of transfer speeds and their future evolution are observed in this thesis. The subject of the practical part is a comparison of reached transfer speeds in the real world and their price on both telecommunications markets.

Keywords: 2G, 3G, 4G, LTE, Optical Fiber, xDSL

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce Ing. Miroslavovi Matýskovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady, pripomienky a najmä čas, ktorý mi venoval pri spracovávaní tejto práce.

Taktiež ďakujem svojej rodine za veľkú podporu po celú dobu bakalárskeho štúdia.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia bakalárskej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

Úvod	9
I. TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 HISTÓRIA	11
1.1 História prenosu informácie	11
2 PEVNÉ SIETE	13
2.1 Optická káblová sieť	13
2.1.1 Optické vlákno	13
2.1.2 Typy optických vlákien	14
2.1.3 Typy optických sietí	15
2.1.4 Topológia optických prístupových sietí	16
2.1.5 Viacbodová distribučná sieť:	17
2.1.6 Architektúra pasívnej optickej siete	17
2.1.7 Metódy spájania optických vlákien	18
2.1.8 Štandardy PON	19
2.2 xDSL	20
2.2.1 Krútená dvojlinka	21
2.2.2 Architektúra siete	22
2.2.3 Štandardy využívané telekomunikačnými operátormi	23
3 MOBILNÉ SIETE	26
3.1 0G	26
3.1.1 Príklady využitia technológie	26
3.2 1G	27
3.2.1 Štandardy mobilného pripojenia	27
3.3 2G	28
3.3.1 Štandardy viacnásobného prístupu	29
3.3.2 GPRS	30
3.3.3 EDGE	30
3.3.4 Flash-OFDM	31
3.3.5 Architektúra siete GSM a GPRS	31
3.4 3G	34
3.4.1 UMTS	34
3.4.2 CDMA 2000	35
3.4.3 HSDPA	35
3.4.4 HSUPA	35
3.4.5 HSPA+	36
3.4.6 Architektúra siete UMTS	36
3.4.7 HD Voice	36
3.5 LTE	37
3.5.1 Architektúra siete LTE:	37
3.5.2 Modulácia prenosu	39
3.5.3 MIMO	40
3.5.4 VoLTE	41
3.6 4G	41
3.6.1 LTE-Advanced	41
3.7 WiMAX	42
3.8 Porovnanie generácií mobilného pripojenia	43

4	BUDOVANIE SIETÍ.....	44
4.1	Mobilná sieť.....	44
4.1.1	Architektúra mobilnej siete operátora	44
4.1.2	Rádiová časť.....	45
4.1.3	Podporované zariadenia	46
4.2	Pevná sieť	46
II.	PRAKTICKÁ ČASŤ	48
5	PRENOSOVÉ RÝCHLOSTI.....	49
5.1	Mobilné siete.....	49
5.2	Pevné siete	51
5.2.1	Metalická sieť	51
5.2.2	Optická sieť.....	52
6	PONÚKANÉ SLUŽBY MOBILNÝCH OPERÁTOROV	53
6.1	Zoznam mobilných operátorov	53
6.1.1	Slovenská republika:	53
6.1.2	Česká republika:	53
6.2	Mobilný operátori z pohľadu poskytovania služieb	54
6.2.1	Služby mobilných operátorov	54
6.2.2	Služby mobilných operátorov v Slovenskej republike	56
6.2.3	Služby mobilných operátorov v Českej republike	57
6.3	Porovnanie cien dátového pripojenia.....	58
6.3.1	Mobilná sieť.....	58
6.3.2	Optická sieť.....	62
6.3.3	Metalická sieť	63
6.4	Porovnanie Internetových služieb z pohľadu užívateľa.....	64
6.4.1	Mobilné pripojenie	64
6.4.2	Metalické pripojenie.....	65
6.4.3	Optické pripojenie	65
	ZÁVER	66
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	68
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	72
	ZOZNAM OBRÁZKOV	75
	ZOZNAM TABULIEK	76
	ZOZNAM GRAFOV	77

ÚVOD

V historii celého lidstva aktuálně prežíváme najmenej konfliktné desaťročia. Tieto roky sú doposiaľ taktiež najrýchlejším progresom vo vývoji a výskume ľudstva. Obklopení sme érou informačných technológií, bez ktorej si už mnohí z nás nevedia predstaviť svoj každodenný život. Prakticky každý deň uzrie svetlo sveta nejaká nová technológia, ktorej primárnym účelom je zjednodušiť nám prácu a vzájomnú komunikáciu. Boli vymyslené mnohé technológie, ktoré umožňujú prenos informácií na rôzne vzdialenosti. V tomto smere je však rozhodne najväčším objavom celosvetová sieť sietí, Internet. Obrovské množstvo technológií ktorými sme dnes obklopení komunikuje prostredníctvom tejto siete, čo nám otvára nové možnosti a poskytuje prakticky neobmedzený prístup k informáciám. Pokiaľ má nejaký človek záujem o to stať sa súčasťou nejakej siete akou je napríklad Internet, alebo telefonická sieť, obráti sa so svojou žiadosťou na telekomunikačného poskytovateľa vo svojej krajine. V oblasti poskytovania telekomunikačných služieb sú najdominantnejšími na trhu práve mobilní operátori, ktorí sa starajú o poskytovanie mobilných, a v niektorých prípadoch i pevných služieb. Vo vyspelých krajinách sú prakticky všetci občania prostredníctvom svojich telefónnych zariadení pripojení do telekomunikačnej siete. Niektorí tohoto pripojenia využívajú neustále, zatiaľ čo iní ho ocenia až v núdzových prípadoch. V posledných desaťročiach sa aktívne pracuje na zdokonaľovaní týchto spôsobov pripojenia a to najmä kvôli zväčšujúcemu sa dopytu po dátových službách a ich náročnosti. Mobilné siete využívajúce rádiové spojenie už dávno neposkytujú len hlasové služby, ale umožňujú vysokorýchlostný prenos dát na väčšine územia, ktoré operátor pokrýva svojou sieťou. V oblasti pevných pripojení každoročne stúpa počet pripojených domácností do telekomunikačnej siete buď to prostredníctvom metalických, alebo optických káblov. Využitie spojenie s telekomunikačnou sieťou je možné využívať v mnohých smeroch, pričom najčastejšie spôsoby jej využívania sú prístup k Internetu, volania, písanie správ a sledovanie TV.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 HISTÓRIA

Máme možnosť žiť v dynamickej dobe, v ktorej dosahujeme doposiaľ najrýchlejšieho progresu v histórii ľudstva. Hlavne v oblasti technologického vývoja smerujeme vpred míľovými krokmi, čo má za následok vyzdvihnutie komunikácie na úplne novú úroveň. Od prenosu hlasu prostredníctvom zvukovodov, sme sa dostali až k využitiu elektromagnetických vlastností pre vysokorýchlostné dátové spojenia.

1.1 História prenosu informácie

Ľudstvo sa už od dávnej minulosti pokúšalo zefektívniť komunikáciu vedenú na dlhšie vzdialenosti. Od posielania listov a využívania zvukovodov prišla najväčšia revolúcia v prenose informácií po objavení elektromagnetizmu.

Prvé vážnejšie základy komunikácie vznikali v prvej polovici 19. storočia. Konkrétne v roku 1837 zostrojil Samuel Morse prvý telegraf, ktorý využíval na prenos informácie metalické vedenie. Za vynálezcu prvého telefónu sa pokladá Antonio Meucci, ktorý v New Yorku roku 1860 predstavil zariadenie založené na elektromagnetickom princípe, zložené z mikrofónu a slúchadla. Mechanické vlnenie zvuku rozkmitalo membránu s permanentným magnetom v cievke. Cievka previedla kmitavý pohyb na elektrický prúd ktorý sa po vodiči šíril do totožného zariadenia, ktoré vykonávalo opačnú konverziu späť na kmitavý pohyb membrány. Tento spôsob prenosu zvuku fungoval však len na krátke vzdialenosti a bol sprevádzaný veľkou stratou hlasitosti. Významným bol aj rok 1864, kedy James Clerk Maxwell uverejnil svoju prácu v ktorej tvrdil, že elektrina, magnetizmus i svetlo majú množstvo spoločných vlastností a dokážeme ich prenášať vo forme žiarenia. Tejto myšlienky sa chytil aj zubár menom Mahlon Loomis, ktorý roku 1865 ako prvý uskutočnil bezdrôtový prenos informácií prostredníctvom atmosféry. Experimentom bol bezdrôtový telegraf pozostávajúci z dvoch kovových šarkanov. Prvý šarkan plnil úlohu vysielacej časti telegrafu, ktorá do atmosféry vysielala informácie vo forme premenlivej úrovne elektrického prúdu. Druhý šarkan bol pripojený na galvanometer, čím plnil funkciu prijímača. Experimentom dokázal možnosť bezdrôtového prenosu informácie na princípe magnetickej indukcie, a to na vzdialenosť 29 km. V roku 1888 vedec Heinrich Hertz potvrdil Maxwellovu teóriu a úspešne preniesol rádiové vlny atmosférou. Neskôr zostrojil rádiový systém, ktorým dokázal preniesť informáciu cez samotný Atlantický oceán.

Prenášané informácie boli len telegrafným kódom. Prvý rádiový prenos hlasu sa uskutočnil až v roku 1906. Následne nastal rýchly progres vo vývoji rádiových technológií. V dvadsiatych rokoch dvadsiateho storočia sa na území USA začali používať stanice s vysielačou frekvenciou 2 MHz. Komunikácia prebiehala len jednosmerne a bola vymedzená pre záchranné a policajné zložky. Prvé rádio umožňujúce obojsmernú komunikáciu zostrojili až v roku 1924 v Bell Laboratories. Prvý komerčne dostupný rádiotelefón ktorý môžeme pokladať za prvý mobilný telefón, bol predstavený v roku 1946 firmami Southwestern Bell a AT&T v meste Saint Louis. Bol inštalovaný do automobilov a pracoval na frekvencii 150 MHz. Využívaných v rámci tohto pásma bolo šesť kanálov, no kvôli vznikajúcemu rušeniu sa prakticky začali využívať len tri. Rádiotelefóny sa pripájali na hlavnú anténu, ktorú si vyberali na základe intenzity signálu. Antény boli rozmiestnené po krajine a prepojené s hlavnou centrálnou sieťou. Dôležitým medzníkom v telekomunikačnej sfére bol aj rok 1947, kedy dvaja páni Douglas H. Ring a William Rae Young zverejnili verejnosti svoj koncept tzv. bunkových sietí. Znamenalo to prerozdeliť oblasť na menšie zväzky, medzi ktorými sa bude mobilná stanica sama prepínať podľa potreby. Rádiotelefónna sieť fungujúca bez potreby ľudského zásahu v procese prepájania hovorov vznikla už v roku 1948, spoločnosťou Richmond Radiotelephone Company. Od tohto okamihu začali telekomunikačné spoločnosti napredovať závažnou rýchlosťou vpred. Základné piliere boli vystavané a pripravené na ďalšie metódy zdokonaľovania. Jeden z najzaujímavejších prínosov v nasledujúcich dvadsiatich rokoch sa týkal bunkovej mobilnej komunikácie. Každá bunka po novom disponovala iným, jej prideleným frekvenčným spektrom, aby nedochádzalo k nežiaducej interferencii signálu na mobilnej stanici. Dané frekvenčné spektrum sa opätovne použilo až v prípade, že medzi jeho využívanými základňovými stanicami vznikol dostatočný odstup a nedochádzalo k rušeniu [1], [2].

Následne nadišla doba počítačov, sietí a samotného Internetu, kedy sa potenciál telekomunikačných sietí vyšplhal na veľmi vysokú úroveň a v priebehu uplynulých desaťročí dospel až do štádia, ktoré poznáme dnes.

2 PEVNÉ SIETE

V dnešnej dobe sa mobilný operátor snaží zastrešiť domáci trh obrovským počtom ponúkaných služieb. Operátori už dávno neponúkajú len telefonické pevné linky, ale aj plnohodnotné pripojenie do siete Internet. Práve zabezpečenie Internetového pripojenia do domácností im vytvára ďalšie možnosti vo vytváraní ponúkaných IP (Internet Protocol) služieb. O pevné pripojenie do Internetu majú záujem hlavne zákazníci, ktorí nevyžadujú nijakú mobilitu. Pevná sieť je statickou formou pripojenia domácnosti do telekomunikačnej siete. V prípade pevného pripojenia rozlišujeme na slovenskom a českom trhu mobilných operátorov optické a metalické káblové spojenie.

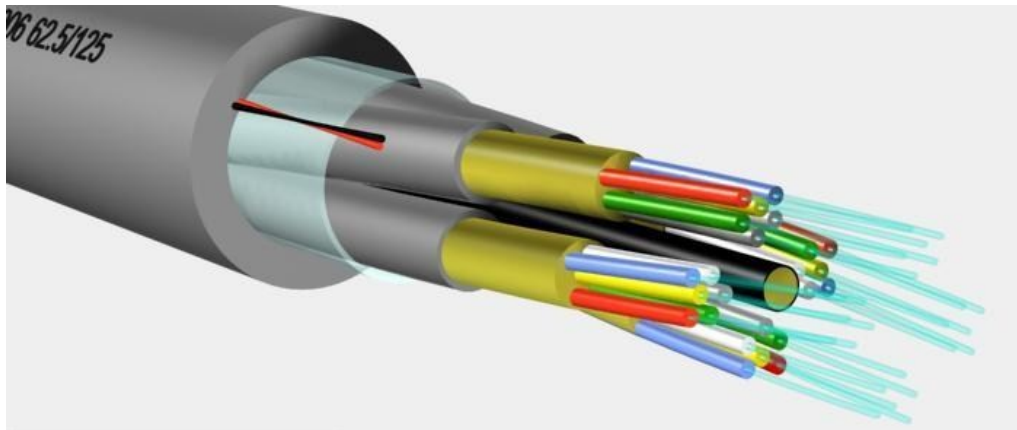
2.1 Optická káblová sieť

V telekomunikačných technológiách sa poskytovatelia snažia využívať optické vedenie častejšie ako metalické, pretože je schopné prenášať dáta na dlhé vzdialenosti pri podstatne vyšších prenosových rýchlostiach s oveľa menším tlmením prenášaného signálu. Optické vlákna sú odolné voči elektromagnetickému rušeniu a taktiež ho nevytvárajú. Dáta prenášané touto sieťou môžu byť použité na poskytovanie ľubovoľných komunikačných služieb ako napríklad Internet, televízia, rádio, telefonovanie, video, hudba, online hry a mnoho ďalšieho. Kapacita optických liniek je prakticky neobmedzená a v prípade potreby je možné ju naďalej zvyšovať. Obmedzenie je momentálne vytvárané len rýchlosťou samotných HW (Hardware) zariadení. Komerčné rýchlosti sa v dnešnej dobe pohybujú až na úrovni niekoľkých Gbit/s, pričom sa jednotlivé domácnosti o túto rýchlosť spoločne delia.

2.1.1 Optické vlákno

Významným prvkom optickej siete je samotné optické vlákno (Optical Fiber). Skladá sa z jadra, plášťa a ochrany. Jadro i plášť sú tvorené sklom, prípadne plastom. Vláknom sa šíri elektromagnetické vlnenie, ktoré je na rozhraní jadra s plášťom odrážané pozdĺž svojej osi. Šírenie tohto vlnenia optickým vláknom je popísané geometrickou optikou, presnejšie zákonom odrazu a lomu. Jadro aj plášť sú optické prostredia popísané svojím indexom lomu. Ten charakterizuje správanie elektromagnetického lúča na rozhraní dvoch prostredí, a vypočítame ho ako pomer rýchlosti šírenia svetla vo vákuu a rýchlosti šírenia svetla

v danom materiály. Cieľom prenosu lúča optickým vláknom je dosiahnutie jeho minimálneho útlmu. To je docielené tým, že plášť bude mať oveľa menší index lomu ako jadro a uhol dopadu lúča od kolmice na os vlákna musí byť väčší ako medzný uhol týchto dvoch materiálov. V prípade, že je táto podmienka splnená dochádza k úplnej odrazivosti. V opačnom prípade sa časť lúča stráca absorpciou v plášti vlákna. V prípade šírenia elektromagnetického vlnenia v sklenených vláknoch, sa využíva väčšinou rozmedzie vlnových dĺžok 800 až 1600 nm. Optické vlákna delíme podľa počtu prenášaných módov na jednomódové a mnohomódové. Mnohomódové vlákna môžu mať skokovú, alebo plynulú zmenu indexu lomu [3].



Obr. 1. Optický kábel s ochranou [4].

2.1.2 Typy optických vlákien

- **Skokové mnohomódové** - index lomu sa medzi plášťom a jadrom mení skokovo, a preto tieto vlákna dokážu naraz preniesť stovky až tisíce módov súčasne pri priemere jadra 50 μm . Využívajú sa na kratšie vzdialenosti kvôli väčšiemu útlmu a nižším prenosovým frekvenciám.
- **Gradientné mnohomódové** - majú na pohľad plynulý prechod indexu lomu od jadra k plášťu. Módy šíriace sa pri ose vlákna sa šíria rýchlejšie ako tie pri plášti, pričom lúč svetla šíriaci sa vláknom má tvar sínusoidy. Tento typ vlákien dosahuje nižšie tlmenie ako vlákna so skokovou zmenou indexu lomu a zvyknú sa využívať na stredne dlhé vzdialenosti. Jadro dosahuje väčšinou šírku približne 50 až 125 μm .

- **Jednomódové** - prenášajú len jeden mód a priemer jadra dosahuje hodnotu 9 μm . Svetlo sa do jadra dostáva budiacim laserom. Vláknó má nízke tlmenie a dosahuje väčšie prenosové frekvencie. Je veľmi výhodné na dlhé vzdialenosti.
- **Plastové** - majú veľký priemer jadra, pričom vlákno dosahuje obrovské tlmenie (50 až 100 dB/km). Spájanie týchto typov vlákien je jednoduché a sú s ním spojené nízke výrobné náklady.

V súvislosti s optickým pripojením sa používa pojem FTTX (Fiber To The X), pričom písmeno X prezentuje spôsob umiestnenia ukončovacích jednotiek optických prístupových sietí a spôsob ich realizácie [5].

2.1.3 Typy optických sietí

V závislosti od dosahu optického vlákna smerom k účastníkovi rozlišujeme rôzne typy optických pripojení. Pokiaľ sa na ukončenú optickú sieť napája kvôli ďalšiemu vzdialenostnému postupu siete metalické vedenie, vravíme o hybridných sieťach.

FTTN (Fiber To The Neighborhood / Node)

- optické vlákno je privedené do účastníckeho rozvádzača, ktorý môže byť vzdialený aj niekoľko km od koncového bodu siete,
- na tento typ ukončenia často nadväzuje metalické pripojenie vo forme telefonickej linky UTP (Unshielded-twisted-pair) zvané xDSL (x Digital Subscriber Line), ktoré predstavuje menej nákladnú formu pripojenia koncového užívateľa do siete.

FTTC (Fiber To The Curb / Cabinet)

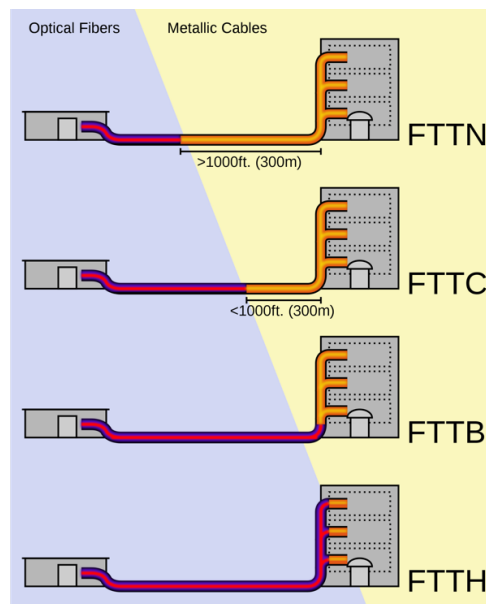
- optické vlákno je privedené do rozvodovej skrine, ktorá býva vzdialená od koncového bodu do 300 m,
- tento typ ukončenia tvorí taktiež základ pre technológiu xDSL.

FTTB / FTTP (Fiber To The Building / Fiber To The Premises)

- optické vlákno je privedené do budovy účastníka, alebo spoločných priestorov.

FTTH (Fiber To The Home)

- optické vlákno je privedené až ku koncovému bodu siete,
- práve tento typ prístupu do siete Internet je vo svete najprestížnejší [6].



Obr. 2. Štruktúra FTTX pripojenia [6].

2.1.4 Topológia optických prístupových sietí

P2P (Point to Point)

- pre každého užívateľa je vyhradené vlákno pre komunikáciu s ústredňou,
- príjem aj vysielanie prebieha na odlišných vlnových dĺžkach, alebo sa pre oba smery prenosu použijú odlišné vlákna pri použitej rovnakej vlnovej dĺžke,
- konektivita približne 100 - 1000 Mbit/s,
- využiteľná je táto alternatíva v prípade, že je vzdialenosť medzi ústredňou a účastníkom menšia ako 70 km.

P2MP (Point to Multipoint)

- na jeden port je pripojené väčšie množstvo účastníkov,
- bod-multibod využíva pasívne optické rozbočovače k deleniu signálu v sieti,
- zlučovanie aj delenie signálu prebieha bez aktívnych prvkov siete, využívané sú jednovidové vlákna,
- tento typ topológie v spolupráci s pasívnou optickou sieťou šetrí do veľkej miery náklady poskytovateľa a to najmä pri budovaní rozsiahlych FTTX sietí,
- všetci účastníci využívajú totožnú šírku pásma,
- využitie technológie WDM (Wide Wavelength Division Multiplexing), čo značí technológiu paralelného prenosu dát pomocou viacerých vlnových dĺžok. [7].

2.1.5 Viacbodová distribučná sieť:

Medzi prístupovým bodom ústredne poskytovateľa a koncovým bodom užívateľa sú informácie prenášané za pomoci spájania a rozdeľovania signálu do jedného optického vlákna, čo zväčšuje efektivitu a znižuje náklady na budovanie sietí.

AON (Active Optical Network)

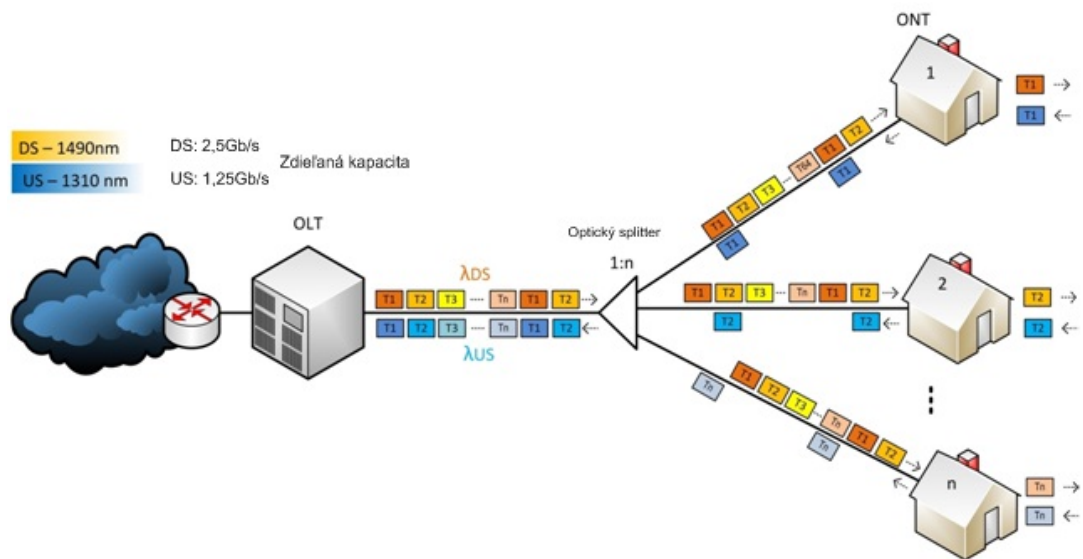
- prepojenie ústredne jedným vláknom s prepínačom, ktorý je v oblasti s viacerými zákazníkmi,
- potrebné je napájanie aktívnych prvkov siete,
- telekomunikační poskytovatelia využívajú tento typ pripojenia vo výnimočných prípadoch hlavne kvôli veľkému dosahu (od ústredne k prepínaču približne 70 km, od prepínača k účastníkovi približne 20 km).

PON (Passive Optical Network)

- prepojenie ústredne jedným vláknom s oblasťou s viacerými užívateľmi, kde sa pripojenie rozdelí pomocou pasívneho rozbočovača,
- dosah približne 20 km,
- výhodou je nepotrebné elektrické napájanie.

2.1.6 Architektúra pasívnej optickej siete

- **OLT (Optical Line Termination)** - optické linkové ukončenie slúži na ukončenie linky na strane operátora. Je potrebné na prevod optického signálu na elektrický a tiež sa stará o všetky činnosti potrebné k fungovaniu siete.
- **ONT (Optical Network Termination)** - zariadenie tvoriace ukončenie linky na strane účastníka plní úlohu adaptácie protokolov medzi optickou prístupovou optickou sieťou a domácou sieťou zákazníka.
- **ONU (Optical Network Unit)** - v porovnaní s ONT dokáže navyše pripájať viacerých koncových užívateľov a kombinovať ďalšie technológie.
- **Optický a metalický rozbočovač (Splitter)** – optický splitter je pasívne zariadenie umožňujúce zdieľať prenosovú kapacitu optického vlákna s viacerými účastníkmi.
- **ODN (Optical Distribution Network)** - súbor prostriedkov pre prenos dát medzi sieťovými zakončeniami [8].



Obr. 3. Architektúra pasívnej optickej siete [8].

2.1.7 Metódy spájania optických vlákien

Zváranie

- pevné nerozoberateľné spojenie,
- spoj vznikne elektrickým oblúkom priblížených optických vlákien,
- výsledný spoj je kvôli krehkosti potrebné mechanický chrániť,
- najkvalitnejšie spojenie, strata spojenia do 0,07 dB,
- dlhodobo účinné spojenie,
- potrebné zariadenie na zváranie spojov (hodnota do 6000 €).

Mechanický spoj

- opätovné rozpojenie/spojenie je možné približne 2 - 5 krát,
- spoj vznikne mechanickým namierením a priblížením optických vlákien v puzdre s následným zafixovaním k puzdru,
- puzdro obsahuje gél zabezpečujúci prachotesnosť a vodeodolnosť,
- strata na spoji 0,05 až 0,16 dB,
- relatívne stále spojenie s dobrou spoľahlivosťou.

Konektor

- opätovné rozpojenie/spojenie je možné približne 1000 krát,
- optické vlákna sú ukončené konektorom a prepojených adaptérom,

- existujú rôzne typy optických konektorov s rôznymi vlastnosťami,
- rýchle spájanie,
- nie je potrebná kúpa drahých zariadení,
- strata na spoji 0,10 až 0,50 dB,
- nízka spoľahlivosť a stálosť spojenia.

2.1.8 Štandardy PON

- **APON (Asynchronous Transfer Mode PON)** - je prvý z mnohých štandardov pasívnej optickej siete schválený organizáciou ITU (International Telecommunication Union) a bol založený na asynchrónnom prenosovom móde pod označením ATM (Asynchronous Transfer Mode). V symetrickom prenose sú s týmto štandardom dosahované hodnoty v oboch smeroch 155,52 Mbit/s, zatiaľ čo v asymetrickom 155,52 Mbit/s pre uplink a 622,08 Mbit/s pre downlink.
- **BPON (Broadband PON)** - štandard vychádzal z APON, pribudla však možnosť využitia WDM (Wave-length Division Multiplexing). Na prenos je teda možné použiť buď to dve vlákna, pričom každé slúži na opačný tok dát, alebo WDM čím sa na obojstranný prenos využijú rôzne vlnové dĺžky prenášaného signálu len v jednom vlákne. Táto technika obojstranného prenosu sa nazýva plný duplex na jednom vlákne.
- **GPON (Gigabit PON)** - momentálne najrozšírenejšia metóda optického prístupu. Fungujúca je na topológii P2MP s architektúrou FTTX. Na strane operátora je vyvedené optické vlákno, ktorý obsluhuje spravidla 16 až 128 koncových užívateľov do vzdialenosti 20 km. Za ideálnych podmienok je možný prenos dokonca na vzdialenosť 40 km. Prenosová kapacita optického vlákna je delená medzi všetkých pripojených užívateľov za pomoci časového delenia, čím nedochádza ku kolíziám a degradáciám signálu v smere uplink. V downlink smere prebieha prenos väčšinou nepretržite, pričom si patričné ONT alebo ONU odchytiť im smerovaný šifrovaný prenos dát. GPON využíva taktiež WDM. Uplink užívateľa prebieha na vlnových dĺžkach približne 1310 nm a môže dosahovať prenosové hodnoty do 1244,16 Mbit/s, zatiaľ čo downlink prebieha na vlnových dĺžkach v okolí 1490 nm a dosahuje prenosy do rýchlosti 2488,32 Mbit/s.

V prípade poskytovania pridanej služby akou je napríklad TV prebieha jej prenos na vlnovej dĺžke 1550 nm. Medzi najväčšie výhody GPON zaradujeme obrovské prenosové rýchlosti, neelektrické sieťové prvky na optickej trase, nulové hodnoty pre EMI (Elektromagnetická interferencia) a odolnosť pred EMS (Elektromagnetická susceptibilita).

- **EPON (Ethernet PON)** - Štandard bol schválený tentokrát inou organizáciou, a to IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Podporuje symetrický prenos o hodnote 1244,16 Mbit/s [9].

2.2 xDSL

V oblasti poskytovania digitálneho prenosu údajov je veľmi známa služba xDSL, ktorá vychádza z pôvodného systému DSL (Digital Subscriber Line). Tento typ technológie využíva existujúce metalické káblové vedenia telefonickej siete a dosahuje prenosovú rýchlosť až 160 kb/s. Pod termínom xDSL sa označujú rôzne alternatívy vylepšených DSL sietí, ktoré oproti pôvodnej technológii dosahujú na danom vybudovanom metalickom vedení vyššie prenosové rýchlosti.

Primárne rozdiely týchto technológií sú v:

- dátová rýchlosť v smere downlink,
- dátová rýchlosť v smere uplink,
- maximálna prístupová vzdialenosť,
- možnosti v kombinácii s hlasovou službou,
- využitie počtu párov symetrického vedenia.

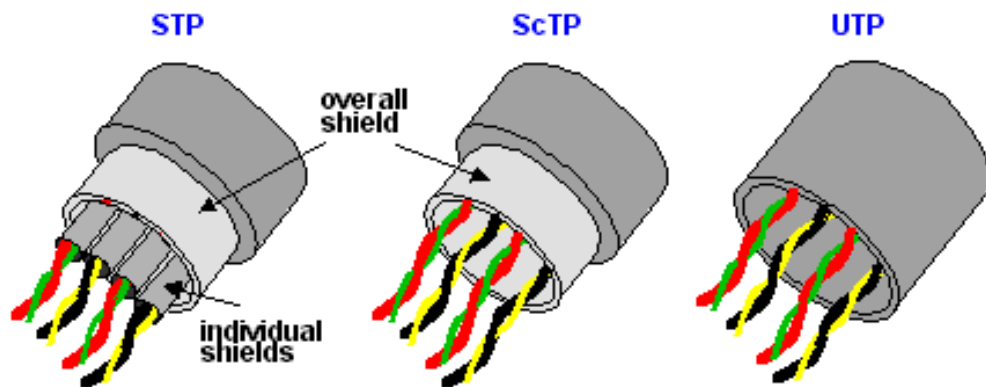
Metalickým vedením sa prenáša obmedzená šírka pásma signálov. Prenos hlasu sa uskutočňuje na inom frekvenčnom pásme ako prenos dát, čo umožňuje neproblematickú funkčnosť oboch služieb bez vzájomného rušenia sa. Nevýhodou služby xDSL je pokles prenosových rýchlostí na strane zákazníka s narastajúcou vzdialenosťou od prístupového bodu siete. Pokles je zapríčinený zvyšujúcou sa chybovosťou bitového prenosu. Keďže bola telefónna linka využívaná spočiatku len na prenos hlasu, mala v minulosti nižšie nároky na jej vybudovanie. Dnes keď cez ňu uskutočňujeme vysokofrekvenčné prenosy, sa však stretávame s množstvom nedostatkov samotného vedenia. Sú nimi napríklad teplotné

rozdiely, rádiová interferencia, rôzne priemery jadier ktorými vzniká šum, presluchy, skreslenia a mnoho ďalšieho. Preto sú pred každým nasadením xDSL potrebné dôkladné merania v súlade s predpísanými štandardmi [3], [10].

2.2.1 Krútená dvojlinka

Distribúcia dátového pripojenia zákazníkov k telekomunikačnej ústredni je veľmi rozšírená prostredníctvom tzv. krútenej dvojlinky (Twisted Pair). Jedná sa o rozsiahlu infraštruktúru, ktorá bola vybudovaná primárne v súvislosti s hlasovým prenosom, neskôr sa nevyužitá kapacita začala využívať aj na vysokofrekvenčné prenosi v súvislosti s pripojením do siete Internet. Jej inštalácia je jednoduchá a využitie mnohostranné. Páry sú navzájom skrútené čím vytvárajú vzájomné tienenie, ktoré zabraňuje nežiaducemu vzájomnému rušeniu medzi vodičmi. Existujú rôzne varianty prenosových káblov a vo všeobecnosti platí pravidlo, že s vyššou frekvenciou zakrútenia vodičov dochádza k zvýšeniu prenosových rýchlostí. Umožňuje to nižšia chybovosť prenášaných dátových tokov, ktoré je týmto intenzívnejším skrútením dosiahnuté. Skrútené páry sú chránené vrstvou izolácie. Rozlišujeme niekoľko základných typov krútených dvojliniek.

- **UTP** - veľmi časté prevedenie, ktoré okolo párov nevyužíva žiadna kovovú ochranu. Vzájomne stočený pár vodičov do istej miery potláča elektromagnetické rušenie, ktoré je vytvárané prechádzaním prúdu cez dvojlinku.
- **STP (Shielded Twisted Pair)** - pokiaľ inštalácia do elektromagneticky nepriaznivejších podmienok vyžaduje zvýšenú odolnosť vodičov, využívajú sa STP linky prepojenia. STP obsahuje takmer rovnakú konštrukciu, farebné rozlíšenie a použité konektory ako UTP, líši sa však v pridanom zapuzdrení každého páru do hliníkového obalu. V prípade ešte väčšej ochrany pred interferenciou sú tieto páry ako celok tienené opletením. Pokiaľ je dvojlinka tienená opletením bez hliníkovej ochrany jednotlivých párov, jedná sa o kábel ScTP (Screened Twisted Pair). Oproti UTP kabeláže sa s STP pracuje problematickejšie, pretože je ťažšie manipulovateľný vďaka svojej menšej pružnosti. Navyše je tento typ dvojlinky potrebné patrične uzemniť, aby nevznikal indukčný šum [11].



Obr. 4. Typy káblov krútenej dvojlinky [12].

Ukončenie kábla je najčastejšie ukončované konektorom s označením RJ - 45. Tento typ je vo svete najrozšírenejší, stretávame sa s ním najmä v domácnostiach vo forme prípojky do telekomunikačnej siete poskytovateľa. Tento typ konektora umožňuje pripojenie maximálne ôsmich vodičov [11].

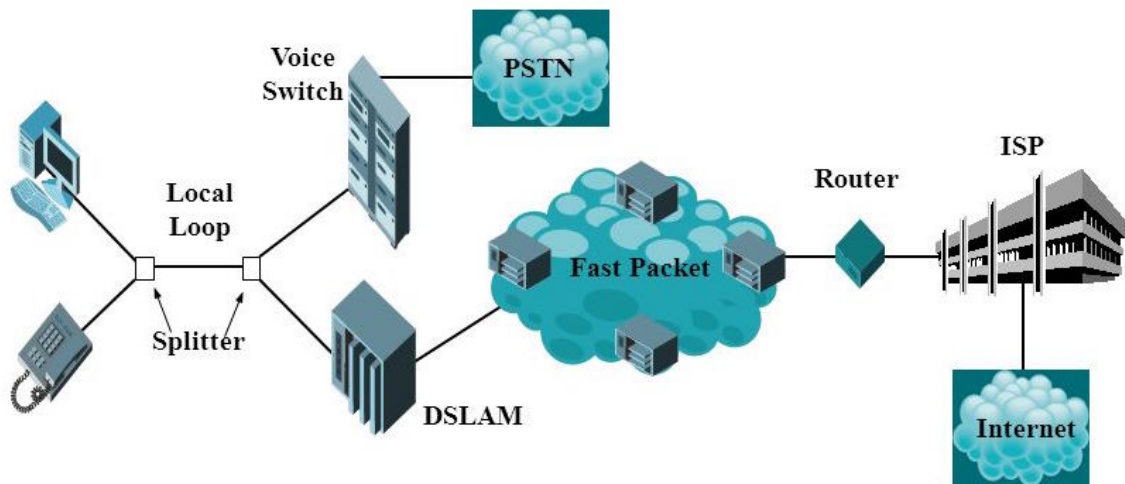


Obr. 5. Konektor RJ-45 [13].

2.2.2 Architektúra siete

- **DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexor)** - zariadenie poskytovateľa dátového pripojenia umiestnené v ústredni slúžiace ako prístupový multiplexor, v ktorom sa združujú linky pripojených účastníkov. Sieť zlučuje tok dát smerujúci smerom k ústredni Internetového poskytovateľa.

- **Splitter (Rozbočovač)** - slúži ako zakončenia linky v oboch smeroch. Na začiatku linky je Splitter zabudovaný priamo v DSLAM, na konci linky je to zariadenie pripájajúce zákazníka prostredníctvom jeho telefónnej zásuvky. Zariadenie je pasívnym filtrom, ktoré rozdeľuje a zlučuje nízke frekvencie určené pre hlasový prenos prostredníctvom pevnej linky a vysokofrekvenčný prenos dát.
- **ATM** - tvorí dôležitú vrstvu architektúry pre vysokofrekvenčný prenos dát smerom k ústredni poskytovateľa. Asynchrónnosť označuje povahu technológie, ktorá prideluje prenosové rýchlosti kanálom podľa potreby. Kanálom využívajúcim vyššiu prenosovú rýchlosť sú transportné bunky pridelované častejšie ako tým s nižšou rýchlosťou. ATM je sieťovou architektúrou, ktorou je možný prenos hlasu, videa a dátových služieb Internetu. Na rozdiel od paketov majú bunky konštantnú dĺžku. Pred samotným prenosom dát je potrebné nadviazanie spojenie medzi koncovými bodmi siete [15].



Obr. 6. Architektúra xDSL siete [14].

2.2.3 Štandardy využívané telekomunikačnými operátormi

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) - delí sa na podskupiny s rôznymi prenosovými rýchlosťami, moduláciami a dosahovanými prenosovými vzdialenosťami. Tento typ asymetrickej linky umožňuje podstatne vyššie rýchlosti od zariadenia DSLAM ku klientovi (downlink) ako v opačnom smere (uplink). Asymetricnosť spojenia nie je prekážkou, pretože sa predpokladá omnoho väčší dopyt po sťahovaní dát ako po ich nahrávaní. Prenos skupiny ADSL prebieha na jednom metalickom páre. Frekvenčné pásmo

do 4 kHz je rezervovaná pre siete PSTN (Public Switched Telephone Network), čo je celosvetová verejná telefónna sieť tvorená sieťami telefónnych operátorov, ktoré sú vzájomne kompatibilné a prepojené telefónnymi ústredňami. V dnešnej dobe ja takmer plne digitalizovaná a pozostáva aj z mobilnej telefónnej siete. Frekvenčné pásmo od približne 25 kHz do 138 kHz je rezervované pre uplink a 138 kHz až 1104 kHz pre downlink. Dosah bol do vzdialenosti 3 km, pričom prenosové rýchlosti dosahovali hodnoty do 6 Mbit/s pre sťahovanie a maximálne 1 Mbit/s pre nahrávanie.

ADSL 2 – došlo k rozšíreniu prenosového pásma z maximálnej hodnoty 1,1 MHz na 2,2 MHz. Toto rozšírenie ponúka maximálnu rýchlosť sťahovania do 12 Mbit/s a nahrávanie do 1,3 Mbit/s pri vzdialenosti do 2 km.

ADSL 2+ - maximálna prenosová rýchlosť sťahovania zväčšená na hodnotu 24 Mbit/s a nahrávanie do 3,3 Mbit/s pri vzdialenosti do 2 km.

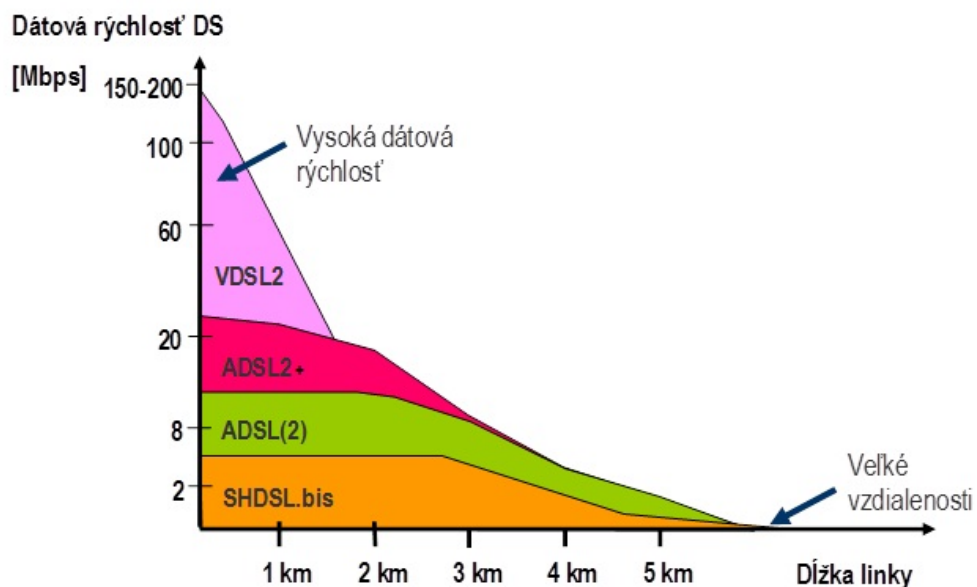
VDSL (Very High-bit-rate Digital Subscriber Line) - delíme na dve triedy. Prvá trieda umožňuje asymetrický prenos v smere uplink 2,048 - 4096 Mbit/s a downlink 6,4 - 23,168 Mbit/s. Druhá trieda VDSL umožňuje symetrický prenos rýchlosťou 6,4 - 28,288 Mbit/s. Taktiež platí pravidlo, že prenosové rýchlosti s narastajúcou vzdialenosťou dramaticky klesajú.

VDSL 2 - použitím novej technológie tzv. vektorovania došlo k čiastočnému odstráneniu šumu a presluchov vo vedení. Na vzdialenosť 400 m sa tak dosahovala rýchlosť necelých 100 Mbit/s a pri 1200 m 40 Mbit/s. Proces vektorovania si vyžaduje výkon ako výpočtový tak aj energetický a tak predstavuje pre telekomunikačného operátora ďalšie výdavky. Napriek tomuto faktu sa však mnohokrát oplatí, pretože vybudovanie tohto typu spojenia môže byť niekoľko násobne lacnejšie ako pri budovaní optickej siete.

SHDSL (Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line) - jedná sa o symetrickú linku, pri ktorej sa dosahovaná rýchlosť prenosu pohybuje na úrovni 4,5 Mbit/s pri použití dvoch párov vodičov.

SHDSL.bis - vylepšenie SHDSL, ktoré na jednom páre prenesie až 5,7 Mbit/s. Možné je použitie až štyroch párov vodičov.

FDSL (Fiber Digital Subscriber Line) - v dnešnej dobe využívajú poskytovatelia dátového pripojenia na vysokofrekvenčné prenosy po svojich najvyťaženejších linkách optické káble. Koncový zákazník je síce pripojený fyzicky prostredníctvom metalického vedenia, povaha pripájacej siete sa však môže počas distribúcie zákazníkovi na vedení meniť. Technológia FDSL sa využíva najmä v prípade, že chce poskytovateľ pripojenia zabezpečiť dátové spojenie na väčšiu vzdialenosť. V takomto prípade je elektrický signál za pomoci FDSL konvertora premenený na optický, ktorý sa po prejdenných niekoľkých desiatok km mení opäť za pomoci FDSL konvertora späť na elektrický. Ten je následne znova distribuovaný prostredníctvom metalického vedenia [15], [16].



Obr. 7. Rýchlosť a dosah xDSL technológie, metalického prístupu [15].

3 MOBILNÉ SIETE

Veľmi významnú rolu v oblasti prenosu informácie zohrávajú mobilné siete. Komunikácia v tomto type siete je založená na bezdrôtovom prenose informácií, čo predstavuje istú úroveň mobility terminálu. Každý bod pripojenia pokrýva signálom len istú oblasť. Tieto oblasti pokrytia signálom sa nazývajú bunkami, a pri budovaní mobilnej telekomunikačnej siete je ich rozmiestnenie na danom území kľúčové. Nároky na tieto bunkové siete neustále narastajú, preto sa každý telekomunikačný operátor snaží o čo najefektívnejšie nasadenie nových technológií do svojej siete. Oblasť vylepšovania mobilných sietí je veľmi dynamická a v histórii už prešla niekoľkými generáciami.

3.1 0G

0G je označenie pre nultú generáciu mobilného pripojenia do telekomunikačnej siete. Jednalo sa o akúsi pred-generáciu mobilných telefónov. Presnejšie týmito terminálmi boli rádiové telefóny umiestňované prevažne do áut. Táto generácia využívala technológie ako PTT (Push to Talk), AMTS (Advanced Mobile Telephone System), MTS (Mobile Telephone System) a IMTS (Improved Mobile Telephone Service).

Medzistupňom vo vývoji technológií je generácia 0,5G. Hlavným rozdielom bolo rozšírenie siete o komerčnú službu. Tá pozostávala s pripojenia sa do verejnej telefónnej siete, ktorá umožňovala prepájanie vlastných telefónnych čísel v rámci uzavretej siete. Typické využitie bolo nájdené u dispečingu taxi služieb, či policajných hlásení.

3.1.1 Príklady využitia technológie

- **AMR (Automatizovaný mestský rádiotelefón)** - prvá sieť pre mobilné rádiotelefónne spojenie na území bývalého Československa mala názov AMR. Systém bol vyvíjaný spoločnosťou Tesla v Pardubiciach. V experimentálnom móde bol uvedený od roku 1978 a do plnej prevádzky sa dostal roku 1983. V tejto dobe fungoval hlavne pre komunikáciu v blízkej vzdialenosti najmä pre zamestnancov danej spoločnosti. Do komerčného použitia sa sieť dostala až roku 1989 a pretrvávala po dobu desiatich rokov. Umožnená bola len vnútroštátna komunikácia za pomoci hlasových hovorov.

- **ARP (Autoradiopuhelin)** - najstaršia komerčná verejná mobilná sieť spustená vo Fínsku. Spustenie prebehlo roku 1971 a bola plná obmedzení. Rádiatelefón bol veľký a ťažký, zmestil sa do kufra auta. Prepínanie medzi bunkami sprevádzalo prerušovanie spojenia a využívaný bol len poloduplexný prenos.
- **A-Netz** - prvá analógová mobilná sieť poskytovaná na území Nemecka. Služba bola spustená v roku 1958 a na jej prepájanie bol potrebný ľudský faktor, vďaka čomu sa táto služba stávala nákladnou.
- **B-Netz** - s pustenie v Nemecku roku 1972. Oproti A-Netz na jej obsluhu nebol potrebovaný ľudský faktor, bola smerovaná automaticky. Nevýhodou bola nutnosť poznania polohy a kódu oblasti prijímateľa hovoru. Mobilná sieť bola prepojená aj s pevnou sieťou a podporovala dokonca medzinárodný roaming s vybranými okolitými krajinami.

3.2 1G

Sieť prvej generácie je technológia založená na analógovom prenose informácií za pomoci frekvenčnej modulácie. Predstavený bol v osemdesiatych rokoch minulého storočia. Problematikou pri tomto type technológie bola možnosť odpočúvania prebiehajúcej komunikácie. Rôzne štandardy mobilnej komunikácie boli vzájomne nezlučiteľné a kvalita poskytovaných služieb bola v porovnaní s pevnou telekomunikačnou sieťou na oveľa nižšej úrovni.

3.2.1 Štandardy mobilného pripojenia

- **NMT (Nordic Mobile Telephone)** - využívaný bol v severských krajinách Európy a rozdeľoval sa na varianty NMT-450 a NMT-900. Ako napovedá číselná hodnota, líšili sa vo frekvenčnom pásme ktoré využívali. Rozšírenie technológie NMT mali na svedomí hlavne firmy Nokia a Ericsson. Z pôvodných telefónov nepraktických rozmerov sa počas tejto generácie stali skutočne mobilné zariadenia. Dosah základňových staníc dosahoval 2 - 30 km, pričom bol používaný plný duplex. Sieť umožňovala automatické prepínanie medzi bunkami a pribudla do nej aj podpora roamingu a tarifikácie.

- **AMPS (Advanced Mobile Phone System)** - systém bol nasadený v krajinách USA roku 1983 a pretrvával po dobu približne dvadsať rokov. Komunikácia AMPS využívala až 333 párov kanálov na frekvenčnom pásme 850 MHz, ktoré boli neskôr kvôli potrebe kapacity siete navýšené na 416 párov. Využívaná bola frekvenčná modulácia.

Okrem už spomenutých sietí boli postupom času v rámci Európy spustené aj mnohé ďalšie siete v krajinách ako Veľká Británia, Rakúsko, Nemecko, Taliansko, Francúzsko a iné. Otázka telekomunikačných sietí začala pôsobiť veľmi máľúco, preto sa v roku 1982 Európska komisia pre pošty a telekomunikácie rozhodla, že vytvorí skupinu Groupe Spéciale Mobile. Úlohou tejto skupiny bolo vytvoriť celoeurópsku mobilnú telefónnu sieť pod názvom GSM (Global System for Mobile Communications) [17].

3.3 2G

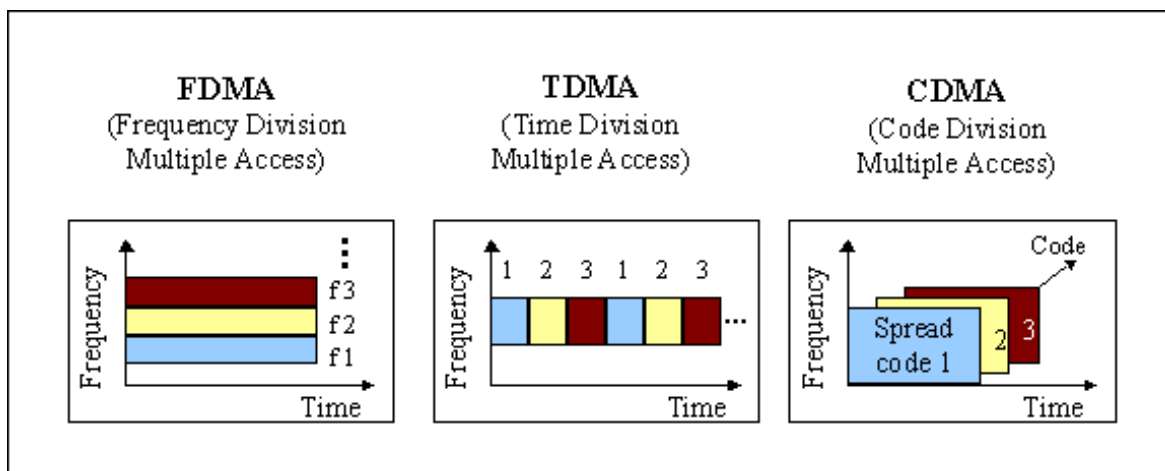
Mobilná sieť druhej generácie predstavovala zjednocovanie štandardov na medzinárodnej úrovni. Primárnym cieľom ďalšej generácie mobilného pripojenia bolo nahradenie analógového signálu digitálnym. Digitálny signál predstavuje obrovské množstvo výhod, ako napríklad efektívnejšie prerozdelenie frekvenčného spektra, úspornejšia komunikácia, či pokročilé zdrojové kódovanie zvyšujúce bezpečnosť prenosu informácií. Skupina Groupe Spéciale Mobile tak stanovila niekoľko ďalších bodov, ktoré musia nové štandardizované siete spĺňať:

- kvalita hlasového hovoru minimálne na úrovni pevnej linky,
- cenová dostupnosť mobilnej stanice a služieb operátora,
- miniaturizácia mobilnej stanice,
- frekvenčná hospodárnosť,
- medzinárodný roaming,
- vytvorenie systému podporujúceho budúce rozširovanie služieb a siete ako napríklad o regionálne správy, SMS (Short Messages), a pod.,
- ISDN (Integrated Services Digital Network) zlučiteľnosť.

Prvou GSM sieťou sa stala v roku 1992 Nemecká D2, ktorá okrem iného bola veľmi bezpečná a umožňovala automatickú lokalizáciu.

3.3.1 Štandardy viacnásobného prístupu

- **TDMA (Time Division Multiple Access)** - viacnásobný prístup s časovým rozdelením. Technológia rozdeľuje použité rádiové frekvencie na časové úseky, tzv. sloty. Sloty sú priradované viacerým volaniam. Na jednej frekvencii tak dokážeme prenášať niekoľko kanálov súbežne.
- **CDMA (Code Division Multiple Access)** - viacnásobný prístup s kódovým delením. Technológia kódujúca dáta špeciálnym kódom, ktorý je priradený každému kanálu zvlášť.
- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)** - viacnásobný prístup s frekvenčným delením. Technológia meniaci nosné frekvencie podľa toho, ktoré sú práve voľné. Frekvenčné spektrum môže byť prerozdelené na rôzne šírky pásma, z ktorých každé predstavuje jeden kanál. Tento typ multiplexu sa však v 2. generácii nezvykol používať [19].



Obr. 8. Metódy viacnásobného prístupu [19].

Tab. 1. Základné štandardy 2G sietí.

Názov:	Ozn.:	Multiplex:	Oblasť:
Global System for Mobile Communications	GSM	TDMA	Európa
Interim Standard 95 (cdmaOne)	IS-95	CDMA	Amerika, Ázia
Interim Standard 136 (D-AMPS)	IS-136	TDMA	Amerika
Integrated Digital Enhanced Network	IDEN	TDMA	USA, Kanada
Personal Digital Cellular	PDC	TDMA	Japonsko

2,5G je neoficiálne označenie pre medzistupeň medzi 2. a 3. generáciou mobilných sietí. Tento medzistupeň umožňuje nie len prepájanie okruhov ale aj paketov, čo má za následok všeobecné zvýšenie prenosových rýchlostí. Pre svoje fungovanie potrebovali už existujúcu GSM sieť. Štandardy tejto generácie sú GPRS (General Packet Radio Service) využívajúce princíp prepájania paketov, a HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data) fungujúcom na princípe prepájania okruhov.

3.3.2 GPRS

Skratka GPRS v preklade znamená všeobecnú paketovú rádiovú službu a je založená na IP protokole, ktorým prenáša dáta v paketoch. Paketový prenos prináša rýchlejší prenos dát a novú formu tarifkácie, ktorá je založená na množstve prenesených dát a nie dĺžke trvania prenosu. Tento štandard zabezpečuje lepšiu konektivitu s ostatnými sieťami, ktoré ju zároveň vnímajú ako svoju podsieť. GPRS využíva rádiové zdroje len vtedy, keď majú byť zaslané alebo prijaté dáta. Prenosové rýchlosti dátového pripojenia dosahujú rýchlosti až 115 kb/s, čo umožňuje využitie pri rôznych službách ktorými sa stáva napríklad MMS (Multimedia Messaging Service), e-mail, WWW (World Wide Web), alebo WAP (Wireless Application Protocol). Koncovým zákazníkom sa tak otvára brána za hranicu telekomunikačnej siete a získavajú možnosť pripojenia aj do siete Internet.

2,75G je posledným neoficiálnym označením pred prechodom na 3G sieť. Prínosom v tomto medzistupni je navýšenie prenosových rýchlostí na ďalší štandard s pomenovaním EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), niekedy známe aj pod označením EGPRS (Enhanced GPRS). Kľúčovým je jednoduchá aktualizácia z GSM systémov používajúcich GPRS technológiu.

3.3.3 EDGE

Hlavným rozdielom v príchode tejto technológie je navýšenie prenosových rýchlostí vďaka zefektívneniu používanej modulácie. Pôvodná modulácia s označením GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) umožňovala preniesť na rádiovéj vrstve len jeden informačný bit na jeden symbol, nová modulácia 8-PSK dokázala preniesť informačné bity až tri. Bez náročnejšej HW úpravy tak bolo možné približne trojnásobné navýšenie rýchlostí aktualizáciou GSM sietí využívajúcich nadstavbu GPRS [11].

3.3.4 Flash-OFDM

Technológia Flash-OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Handoff - Orthogonal Frequency Division Multiplexing), nazývaná aj sieťou Flarion je ojedinelým prípadom v segmente telekomunikačných technológií, s ktorými sa u súčasných operátorov môžeme stretnúť. Využívané je frekvenčné pásmo technológie NTM, teda 450 MHz. Táto nízka frekvencia je vhodná pre šírenie signálu na väčšie vzdialenosti, taktiež má dobré podmienky pri šírení cez prekážky akými sú steny, budovy a terénne nerovnosti. Prenos je umožňovaný aj na úrovni slabého signálu. S touto technológiou je možné dosiahnuť za ideálnych podmienok prenosovú rýchlosť až na úrovni 5,3 Mbit/s pre downlink a 1,8 Mbit/s pre uplink. Latencia oproti predchádzajúcim už spomenutým technológiám dosahuje hodnôt približne 50 ms, čo je oproti hodnotám 250 - 400 ms so štandardom EDGE obrovský krok vpred. Práve parametre rýchlosti a latencie sú dôvody, prečo sa sieť Flarion neoficiálne zaraďuje pod siete druhej generácie [18].

3.3.5 Architektúra siete GSM a GPRS

Štruktúra mobilného pripojenia do siete sa skladá z troch základných úrovní. Je to úroveň užívateľského vybavenia, rádiová časť siete a jadro siete.

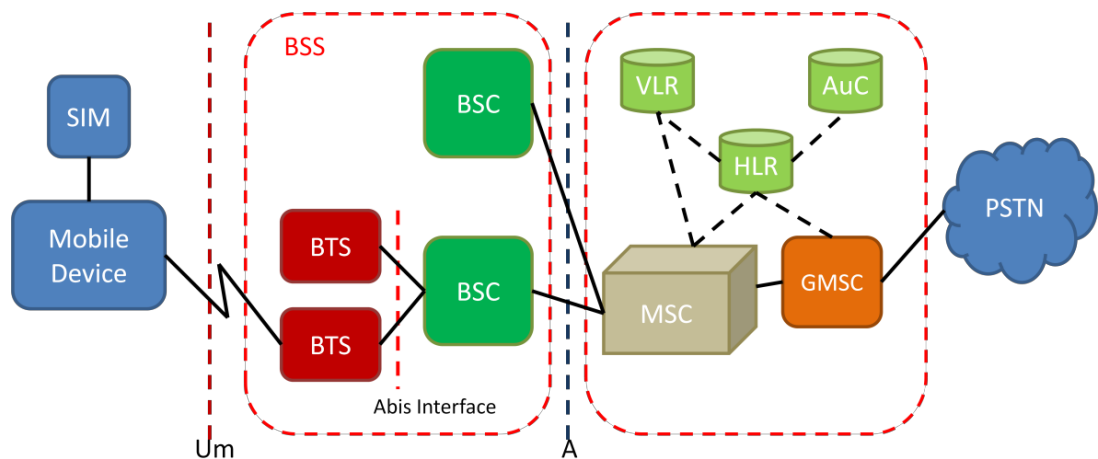
- **SIM (Subscriber Identity Module)** - užívateľom dobre známa karta SIM je jedinečný mikročip pridelený účastníkovi domácej siete. Identifikačné číslo tejto karty je známe ako IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Každá karta účastníka umožňuje špecifické kódovanie identifikujúce práve jeho prenos v sieti. Karta má zväčša vnútornú prepisovateľnú pamäť určenú napríklad na uloženie kontaktov (najrozšírenejšia kapacita 250 kontaktov). Mnohokrát prostredníctvom tohto čipu býva povolená aj komunikácia aplikácií tretích strán, ako je napríklad mobile-banking.
- **ME (Mobile Equipment)** - mobilným zariadením je technické vybavenie schopné komunikovať so sieťou operátora na kompatibilných frekvenciách. Mobilné zariadenie je schopné zväčša najnákladnejších prác s dátami ako napríklad kódovanie a dekodovanie, hovory, správy, či internetová komunikácia. Každé zariadenie má pridelené výrobné číslo IMEI (International Mobile Equipment

Identity), ktoré je jedinečné. Pre chod zariadenia v spolupráci s mobilnou sieťou je potrebná taktiež SIM karta.

- **MS (Mobile Station)** - mobilná stanica je užívateľskou časťou mobilného pripojenia do siete operátora. Mobilná stanica sa skladá z mobilného zariadenia a užívateľovi pridelenej karty SIM.
- **BSS (Base Station Subsystem)** - rádiová časť siete, v ktorej prebieha komunikácia medzi jadrom siete operátora a koncovým zariadením užívateľa. BSS je úsekom, v ktorom sa s každou generáciou mobilnej siete snažia vývojári navýšiť prenosové rýchlosti na možné maximum. V súvislosti s popisáním 2G infraštruktúry siete sa tiež používa názov GSM BSS.
- **BTS (Base Transceiver System)** - základňová stanica je sprostredkovateľom rádiovkej komunikácie medzi sieťou a MS. Je to časť siete, ktorá je bežnému užívateľovi najviac viditeľná a využíva frekvencie ktoré daný operátor získal pre oblasť obsluhy. Jedna základňová stanica dokáže teoreticky uskutočniť 8 hovorov.
- **BSC (Base Station Controller)** - je dôležitým uzlom, ktorý spravuje niekoľko BTS zariadení. Stará sa o rádiové pripojenie MS do siete operátora, ovláda jeho prepínanie medzi základňovými stanicami a odovzdáva aktuálnu polohu nadradenému zariadeniu. Proces prepínania koncového zariadenia medzi rôznymi BTS sa nazýva Handover (Odovzdanie). Jedno BSC zariadenie zvykne obsluhovať približne 200 000 aktívnych užívateľov.
- **NSS (Network and Switching Subsystem)** - predstavuje jadro siete mobilného operátora, kde na HW úrovni prebieha prepínanie danej komunikácie medzi obsluhovanými uzlami. Komunikácia v tejto časti siete prebieha prepájaním okruhov. Súčasťou NSS je veľké množstvo prvkov plniacich rôzne úlohy.
- **MSC (Mobile Switching Center)** - zariadenie obsluhujúce podradené stanice BSC. Keďže je jedno MSC centrum schopné obslúžiť naraz približne až 15 miliónov užívateľov, na malý štát vystačí mnohokrát jedno. Z bezpečnostných dôvodov sa v špecifických prípadoch (časté zemetrasenia) zvykne vybudovať viacero zariadení pre lepšiu distribúciu a predídenie úplnému výpadku siete v prípade poruchy. MSC sa stará o autentifikáciu mobilných zariadení, ich registráciu v sieti, správu mobility a zbieranie informácií o účtovaní paketov.

- **HLR (Home Location Register)** - jedná sa o databázu účastníckych čísel každého operátora. Účastník má pridelené MSISDN (Mobile Subscribed ISDN number), známe ako telefónne číslo. Okrem MSISDN má užívateľ aj IMSI, čo je 15 miestny kód slúžiaci na identifikáciu účastníka vo svete. Kód obsahuje časť popisujúcu krajinu operátora, kód operátora v rámci krajiny a kód užívateľa pod ktorým operátor eviduje svojho účastníka. IMSI slúži na prepojenie užívateľského MSISDN s jeho SIM. MSISDN je na rozdiel od IMSI prenášateľné. Databáza HLR obsahuje len svojich užívateľov spolu so službami, ktoré im môže poskytnúť a ďalšími informáciami ako je napríklad účtovanie služieb.
- **VLR (Visitor Location Register)** – je súčasťou každého MSC a tvorí databázu aktívnych užívateľov pripojených na dané MSC. VLR obsahuje a priebežne aktualizuje polohu každého zariadenia a podáva tieto informácie ďalej na HLR. V prípade že VLR obsahuje zariadenie cudzej siete s ktorým má roamingovú zmluvu, kontaktuje HLR tejto cudzej siete a vyzistí služby ktoré danému užívateľovi môže poskytovať vo svojej sieti.
- **EIR (Equipment Identity Register)** - databáza obsahujúca napríklad zoznam kradnutých MS. Vďaka EIR je možné na základe IMEI zistiť majiteľa SIM karty, ktorá sa v danej MS používa.
- **AuC (Authentication Centre)** - chránená databáza obsahujúca utajený kľúč taktiež uložený na užívateľovej karte SIM. AuC slúži na autentifikáciu a šifrovanie rádiového kanálu.
- **GMSC (Gateway Mobile Switching Center)** - časť siete slúži ako brána k ďalším sieťam. V prípade roamingových zmlúv je GMSC bránou k domácomu operátorovi nás navštíveným účastníkom.
- **GPRS Core Network** - kvôli rozšíreniu siete o paketové prenosy došlo k pridaniu nového jadra do už existujúcej GSM siete. Z pohľadu užívateľa touto sieťou putujú najmä dáta spravujúce prenosy Internetu, MMS a pod. Táto časť siete pracuje na princípe prepájania paketov a komunikuje paralelne s ďalšími prvkami jadra siete NSS.

- **SGSN (Serving GPRS Support Node)** - analógia ku MSC v kruhovej prepínanej sieti. SGSN sa stará o autentifikáciu GPRS zariadení, ich registráciu v sieti, správu mobility a zbieranie informácií o účtovaní paketov.
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** - analógia ku GSMC v kruhovej prepínanej sieti. GGSN predstavuje východiskovú bránu do iných sietí a obsadzuje úlohu routera. Primárne slúži na vybudovanie akéhosi „tunela“ pre spojenie s koncovým zariadením užívateľa. Tento tzv. tunel je udržiavaný počas celej doby spojenia aj napriek prechodu mobilnej stanice medzi základňovými stanicami. GGSN je okrem iného schopné účtovať prenášané pakety a dokonca ich aj filtrovať [20], [21].



Obr. 9. Architektúra siete 2. Generácie [22].

3.4 3G

Sieť tretej generácie znamenala ďalší progres v oblasti vývoja mobilných technológií. Pribudli nové služby ako napríklad videohovor, došlo k výraznému zrýchleniu dátového pripojenia a zväčšeniu objemu prenesených dát. Sieť bola určená hlavne pre mobilné telefóny a internetové modemy, ktoré poskytovali internetové pripojenie najmä mobilným užívateľom používajúcich notebook.

3.4.1 UMTS

Štandard bol vytvorený organizáciou 3GPP (Third Generation Partnership Project) a je založený na technológii W-CDMA (Wideband CDMA). W-CDMA využíva najmä pásma v rozmedzí 1,9 až 2,2 GHz a v rámci svojej spôsobilosti využíva buď to frekvenčne delený

duplex FDD (Frequency Division Duplex) pre párové spektrum, alebo časovo delený duplex TDD (Time Division Duplex) pre nepárové spektrum. Šírka frekvenčného pásma W-CDMA je 5 MHz. Štandard UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) vznikol ako nadstavba sietí GSM a je výhodný najmä pre zariadenia ktoré vyžadujú stále pripojenie k sieti. Štruktúra siete pozostáva obdobne ako pri GSM z jadra UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) a užívateľského zariadenia UE (User Equipment). Dosahované rýchlosti sťahovania sa pohybujú na úrovni 385 kb/s. UMTS bolo spočiatku rozšírenie 2G GSM sietí, neskôr bola činnosť siete zameraná na IP jadro siete umožňujúce namiesto prepínania okruhov a paketov už len paketové prepájanie [23].

3.4.2 CDMA 2000

Vznikol ako vylepšenie už existujúcej CDMA (IS-95). Obdobne ako 3GPP riadilo UMTS v Európe, CDMA 2000 mala na starosti organizácia 3GPP2 ktorá sa postarala o nasadenie tejto technológie hlavne na území Ameriky, Japonska a Kórei.

3.4.3 HSDPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) je štandardom tzv. 3,5G. Stal sa vylepšením UMTS siete v súvislosti s prenosovými rýchlosťami v oblasti sťahovania dát do mobilného zariadenia. Navýšenie vystúpilo na teoretickú hodnotu až 14,4 Mbit/s, čo je prakticky dosiahnuteľná rýchlosť okolo hodnoty 3,1 Mbit/s. Kľúčovými k dosiahnutiu týchto prenosových rýchlostí boli okrem iného aj vylepšenia v oblasti modulácie a kódovania, rýchlejšie reakcie na zmenu kvality kanálu, rýchlejšie vyhľadávanie buniek, pokročilá konštrukcia vysielačov a podpora technológie súčasného využitia viacerých antén, MIMO (Multiple Input Multiple Output).

3.4.4 HSUPA

Po vzore HSDPA došlo k navýšeniu rýchlostí aj v smere uplink, a to na hodnoty 1,4 Mbit/s. Štandard HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) zaraďujeme do tzv. 3,75G. Užívateľsky boli tieto zmeny vnímané hlavne v emailovej komunikácii a pri online hrách.

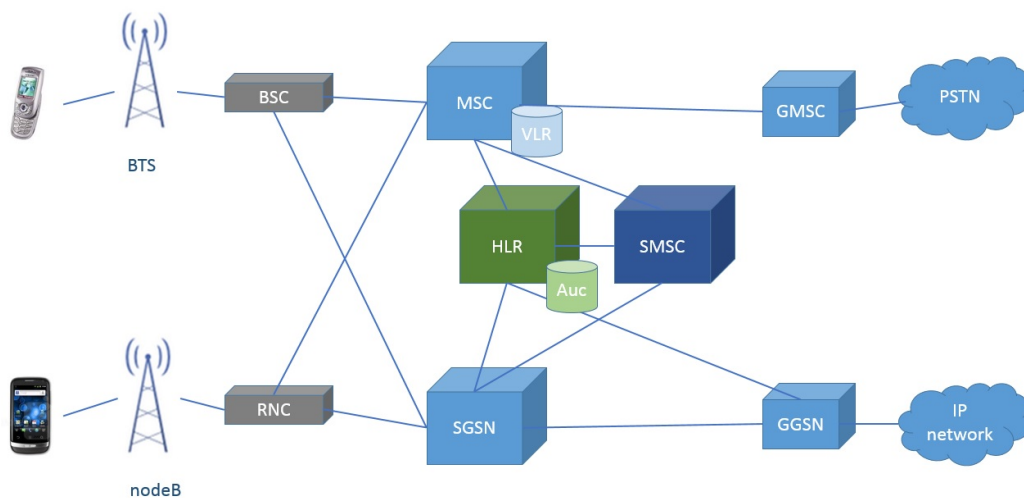
3.4.5 HSPA+

Táto technológia znamená opätovné navýšenie teoretických rýchlostí, a to aj za použitia techniky viacerých antén (MIMO). Hodnoty dosiahli v prípade HSPA+ (High Speed Packet Access +) teoretickú úroveň downlinku 28, respektíve až 42 Mbit/s.

3.4.6 Architektúra siete UMTS

Keďže UMTS vzniklo ako nadstavba už existujúcej GSM siete, prvky ktoré túto architektúru opisujú nie sú veľmi odlišné. Jadro siete je už z minulej generácie rozdelené na časť paketovo prepájaných služieb a časť okruhovo prepájaných služieb. Primárne sa líši hlavne sieť rádiového prístupu, UTRAN.

- **UTRAN** - je analógia ku BSS z minulej generácie mobilných sietí. Došlo k nahradeniu BSC zariadením RNC (Radio Network Controller),
- **Node B** - predstavuje nový typ základňovej stanice BTS. Jedna stanica dokáže teoreticky uskutočniť až 256 hovorov [20].



Obr. 10. Architektúra siete 3. Generácie [24].

3.4.7 HD Voice

Službu je možné implementovať do siete 2G alebo 3G a znamená nahradenie mobilného hlasového hovoru založenom na spojovaní okruhových plne paketovým prenosom. Táto náhrada znamená lepšiu kvalitu zvuku a čiastočné potlačenie šumu. HD Voice (High Definition Voice) je služba založená na VoIP (Voice over IP), hlas prenášaný cez protokol IP.

3.5 LTE

Skratka LTE (Long Term Evolution) predstavuje ďalšiu generáciu mobilnej siete. V literatúre sa niekedy uvádza aj ako 3,9G z dôvodu, že nespĺňa úplne všetky podmienky zaradenia pod 4G siete. Architektúra LTE siete vychádza z UMTS technológie a je optimalizovaná pre plne dátový prenos v sieti, za využitia technológie prepájania paketov. Príchod tejto generácie mobilného pripojenia posunulo limity v rýchlostiach a prenesených objemoch dát nad aktuálne požiadavky dnešných zariadení. Drvivá väčšina spotrebiteľov je v tomto prípade obmedzená vysokými poplatkami mobilných poskytovateľov, nie rýchlosťou pripojenia. LTE siete prechádzajú neustálym rozvojom a ich generácie sú označované skratkou CAT (Category), označujúcu kategóriu LTE technológie. Toto označenie je dôležité pre užívateľa, ktorý si s cieľom využitia maximálnych prenosových rýchlostí svojho operátora musí zvoliť mobilné zariadenie kompatibilné s kategóriu pripojenia. LTE technológia prístupu do mobilnej siete má za cieľ dosiahnutie prenosových rýchlostí v smere downlink na hodnote 300 Mbit/s, v smere uplink 75 Mbit/s a latenciu pod 50 ms. Kľúčovým je taktiež rýchlejší proces odovzdávania mobilnej stanice medzi základňovými stanicami. LTE sľubuje zaistenú mobilitu pri rýchlostiach pohybujúcej sa mobilnej stanice 350 km/h. V LTE technológií sú všeobecne využívané frekvencie v rozsahu 700 až 2700 MHz. Kľúčovým je taktiež flexibilné využitie frekvenčného pásma, ktorého veľkosti sú 1,4, 3, 5, 10, 15 a 20 MHz. Využitý je časový (TDD), ale aj frekvenčný (FDD) duplex [25].

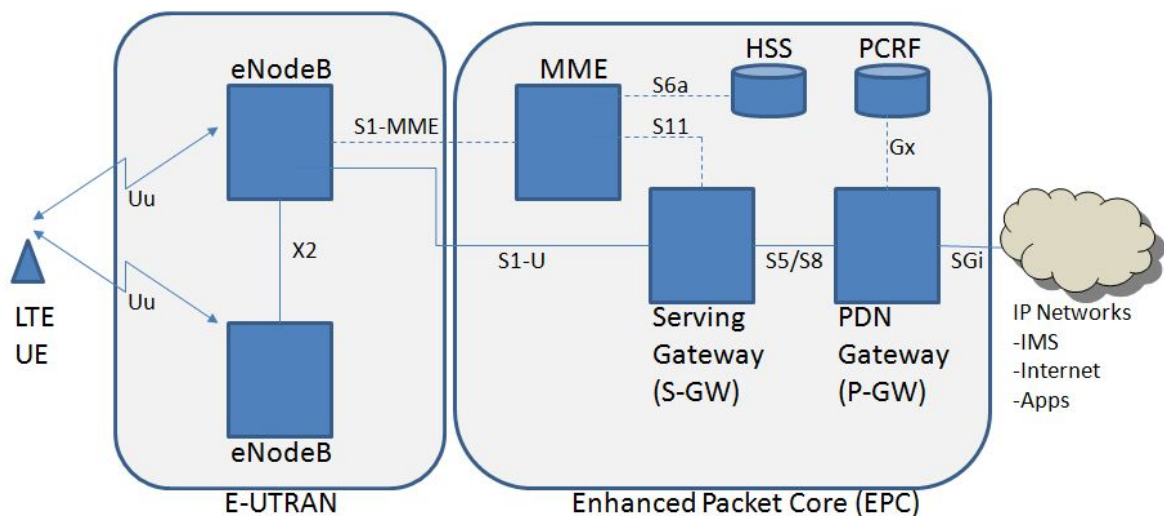
3.5.1 Architektúra siete LTE:

Zatiaľ čo GSM sieť bola založená na prepájaní okruhov, s príchodom dátových prenosov sa štruktúra trochu pozmenila. V GPRS a UMTS sieťach pribudla nová časť ktorá v prípade práce s dátami využívala techniku prepájania paketov. V tretej generácii sa uskutočňovalo buď to prepájanie paketov, alebo prepájanie okruhov vzhľadom na užívateľom žiadané služby. S príchodom LTE však prišla snaha o plne dátovú prevádzku, využívajúcu už len prepájanie paketov. Touto technikou je možné posilať napríklad aj SMS, či uskutočňovať hovory. Tento cieľ rozhodne udáva správny trend smerom do budúcnosti, z ekonomického hľadiska sa však využíva spojenie všetkých troch architektúr. Namiesto vysokej investície do volaní cez LTE sa ku príkladu zariadenie jednoducho

prepne do staršej architektúry využívajúcej prepájanie okruhov. Architektúra založená na plne optimalizovanom paketovom jadre siete sa nazýva EPS (Evolved Packet System) a je rozdelená na E-UTRAN (Enhanced-Universal Terrestrial Radio Access Network) a EPC (Evolved Packet Core).

- **E-UTRAN** - tvorí prístupovú, rádiovú časť mobilnej siete a predstavuje alternatívu k sieti tretej generácií, UTRAN.
- **eNodeB (Evolved NodeB)** - je základňovou stanicou známou z UMTS architektúry pod názvom NodeB. Za účelom skrátenia času pri Handover došlo v LTE k odstráneniu zariadenia RNC a prerozdeleniu jeho činnosti medzi základňové stanice. Odovzdávanie mobilných staníc tak prebieha veľmi efektívne s minimálnou dobou čakania, čo je rozpoznateľné najmä pri online hrách. Vzdialenosť medzi základňovými stanicami býva v mestách 300 až 500 metrov, v menej zaľudnených oblastiach sú to rádovo kilometre. Základňová stanica sa mimo iné stará taktiež o pridelovanie jednotlivých rádiových kanálov podľa stanovených priorít a požadovanej kvality služieb QoS (Quality of Services), o meranie signálu na mobilných stanicách, zaisťovanie dynamického pridelovania prenosových rýchlostí na základe prenosových podmienok a celkovej kontroly rádiovkej časti. Na jednom páre frekvencií dokáže vysielateľ eNodeB uskutočniť teoreticky až 500 hovorov.
- **EPC** – tvorí jednotný IP systém tvoriaci jadrovú časť LTE. Architektúra sa odkláňa od tej z 2. a 3. generácie a to hlavne za účelom dosiahnutia vyšších prenosových rýchlostí, menšieho oneskorenia a zvýšenia kapacity siete. Služby prebiehajúce reálne v čase akými sú napríklad hovory, sú taktiež nahradené plne paketovou službou. Aj to je dôvodom, prečo sa jadro siete nazýva All-IP core.
- **S-GW (Serving GateWay)** - tvorí hranicu medzi rádiovým rozhraním a jadrom siete. Poskytuje konektivitu s technológiami GSM a UMTS.
- **P-GW (Packet Data Network GateWay)** - tvorí spojenie medzi EPC a externými IP sieťami. Plní funkciu routera pri prepájaní paketov medzi sieťou operátora a jadrom siete, a priraduje IP adresu mobilným stanicám.

- **HSS (Home Subscriber Server)** - obsahuje databázu užívateľov, ich polohu, poskytované služby, a riadi prebiehajúce volania, autentifikáciu a autorizáciu užívateľov. V sieťach 2G a 3G plnilo túto úlohu zariadenie HLR.
- **MME (Mobility Management Entity)** - hlavný riadiaci prvok LTE siete. Neprechádzajú cez neho žiadne užívateľské data. Môže obsluhovať niekoľko E-NodeB, mobilných zariadení a S-GW. Medzi jeho hlavné funkcie patrí overenie totožnosti, kedy porovnaním odozvy od mobilného zariadenia a od HSS povolí užívateľovi prístup do systému, a ochrana komunikácie proti odposluchu výpočtom šifrovacieho kľúča. MME tiež zabezpečuje dôveryhodnosť a prideluje každému mobilnému zariadeniu dočasnú identifikáciu. MME sleduje pohyb všetkých užívateľov v danej oblasti.
- **PCRF (Policy and Charging Rules Function)** - prvok riadenia zásad a kontroly účtovania sleduje jednotlivé dátové toky a vyhodnocuje, či poskytované služby zodpovedajú jednotlivým užívateľským profilom a prideleným triedam QoS [26].



Obr. 11. Architektúra siete LTE a 4. Generácie [27].

3.5.2 Modulácia prenosu

- **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)** - pracuje so stovkami až tisíckami subnosných. Subnosné sú rozdelené do tzv. subkanálov. Subkanály môžu byť rozprestrené po celom pásme a nemusia byť pri sebe, čo umožňuje vyberať kanály s najmenším rušením pre vyššiu prenosovú rýchlosť. OFDMA je v sieti LTE využívané v smere downlink.

- **SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access)** - je konkurenčnou technikou k OFDMA a využíva sa v LTE sieti v smere uplink. Zatiaľ čo sa pri OFDMA jednotlivé dátové symboly šíria na subnosných paralelne po relatívne dlhú dobu, v prípade SC-FDMA sú tieto symboly šírené na subnosných sériovo. Oproti FDMA predstavuje SC-FDMA výpočtovo náročnejšiu techniku ale zabezpečuje šetrnejšie energetické zaobchádzanie. Práve to je dôvodom prečo sa nasadzuje do terminálov [17].

3.5.3 MIMO

Prenosová rýchlosť na LTE sieťach (a nie len na nich) je po hardware stránke dosahovaná najmä použitými frekvenciami a samotným frekvenčným pásmom. Signál je bežne vysielaný jedným vysielateľom a prijímaný taktiež jedným prijímačom, pričom táto technika nesie názov SISO (Single Input Single Output). V prípade, že sa výrobcovia pokúsia na existujúcej technológii dosiahnuť ešte vyššie rýchlosti, zvyknú využívať techniku viacerých antén. Medzi základňovou stanicou a mobilným terminálom tak dochádza k prenosu prostredníctvom viacerých paralelných dátových tokov. Technológia viacerých antén sa nazýva MIMO a v závislosti od množstva využitých antén rozlišujeme v LTE najčastejšie MIMO 2x2 a 4x4. MIMO 2x2 využíva dvojnásobné pásmo, zariadenie obsahuje dve antény, pričom každá z nich môže prijať signál od dvoch antén vysielateľa. MIMO 4x4 využíva štvornásobné pásmo, zariadenie obsahuje štyri antény, pričom každá z nich môže prijať signál od štyroch antén vysielateľa [17].

	1.4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
DL (SISO)	4.392 Mbps	11.064 Mbps	18.336 Mbps	36.696 Mbps	55.056 Mbps	75.376 Mbps
DL (MIMO 2x2)	8.784 Mbps	22.128 Mbps	36.672 Mbps	73.392 Mbps	110.112 Mbps	150.752 Mbps
DL (MIMO 4x4)	17.52 Mbps	44.304 Mbps	73.392 Mbps	150.752 Mbps	220.272 Mbps	299.552 Mbps
UL (SIMO MCS=23) Category 4 (16QAM)	2.984 Mbps	7.48 Mbps	12.576 Mbps	25.456 Mbps	37.888 Mbps	51.024 Mbps
UL (SIMO) Category 5 (64QAM)	4.392 Mbps	11.064 Mbps	18.336 Mbps	36.696 Mbps	55.056 Mbps	75.376 Mbps

Obr. 12. Dátová priepusť závislá od šírky pásma [28].

Na obrázku (Obr. 12) vidíme závislosť prenosových rýchlostí od šírky frekvenčného pásma a počtu použitých antén. V LTE sieti zvyknú mobilní operátori najčastejšie využívať nižšie frekvencie v hodnotách 800 MHz pre menej zaľudnené oblasti s väčším dosahom signálu od základňovej stanice. Pre oblasti s väčšou zaľudnenosťou operátor využíva väčšie frekvencie, napríklad okolo 2600 MHz. Najčastejšie sú využívané šírky pásma 10, 15 a 20 MHz, pri použití technológie MIMO 2x2.

3.5.4 VoLTE

V uplynulých rokoch sa telekomunikačné technológie masívne konvertujú z kruhovej prepínanej siete na prepínanie paketov v sieti. Týka sa to aj tak základnej služby v telekomunikáciách akou je napríklad hlasový hovor. V súčasnosti sa množstvo operátorov snaží implementovať do svojej sieťovej štruktúry prenos hlasových mobilných služieb prostredníctvom paketov. Znamená to vyššiu kvalitu hovorov, rýchlejšie spojenie koncových bodov volaných účastníkov a potlačenie nežiaducich zvukov a šumu. Služba VoLTE (Voice over LTE) vychádza zo služby HD Voice. V porovnaní s hovorom uskutočneným v 2G sieti, dochádza k spojeniu nie za 6, ale 2 sekundy. Na našom trhu je však nízka penetrácia zariadení s podporou tejto služby najmä z dôvodu, že množstvo zákazníkov ešte neprešlo na mobilné telefóny podporujúce sieť LTE. Ďalším stupňom po implementácii technológie VoLTE do siete operátora je tzv. Hovor cez Wi-Fi. Prakticky to znamená prenášanie hlasového hovoru prostredníctvom Internetu bez ohľadu na spôsob pripojenia zariadenia do siete. Využitie je zmysluplné hlavne v budovách, kde nie je pokrytie mobilnou sieťou operátora dostatočne kvalitné.

3.6 4G

Nástupcom tretej generácie mobilných sietí je sieť 4G. Aktuálnym celosvetovým trendom je rozširovanie práve tejto technológie za účelom pokrytia čo najvyššieho množstva populácie v rozvinutých a rozvojových krajinách.

3.6.1 LTE-Advanced

Technológiu LTE Advanced (Long Term Evolution – Advanced) nazývanú aj LTE+ alebo 4G+ skutočne zaraďujeme na rozdiel od LTE technológie pod sieť štvrtej generácie. Progres nastal najmä v otázke navýšenia prenosových kapacít. V smere downlink došlo

k navýšení teoretických prenosových rýchlostí na 3 Gbit/s a v smere uplink na 1,5 Gbit/s. Latencia by nemala presahovať hodnoty 10 ms. V prípade využitia techniky viacerých antén došlo k zvýšeniu ich počtu, čo zapríčinilo vytvorenie novej metódy MIMO 8x8. Technológia LTE-Advanced taktiež sľubuje lepšie pokrytie na okrajoch buniek a efektívnejšiu komunikáciu s viacerými základňovými stanicami zároveň. Najväčšou novinkou je však funkcia CA (Carrier Agregation), ktorá prekonala doposiaľ nesplnenú podmienku pre sieť štvrtej generácie v súvislosti so šírkou frekvenčného pásma [25], [26].

Carrier Agregation - Najefektívnejšou metódou navýšenia prenosovej kapacity je rozšírenie frekvenčného pásma. Funkcionalita CA umožňuje agregáciu komunikácie pre prijímanie dát z viacerých pásiem naraz. V praxi to znamená sčítanie prenosových rýchlostí dátových tokov rôznych frekvenčných pásiem. Agregácia je možná nanajvýš z piatich frekvenčných pásem, takže maximálna šírka novo získaného agregovaného frekvenčného pásma je až 100 MHz. Šírka agregovaného pásma pre downlink môže byť odlišná ako uplink, avšak nikdy nebude menšia. Operátor môže ku príkladu poskytovať 10 MHz pásmo na 800 MHz s prenosovou rýchlosťou downlink do 75 Mbit/s, a 20 MHz pásmo na 2600 MHz s prenosovou rýchlosťou downlink do 150 Mbit/s, čím dochádza k sčítaniu týchto dvoch dátových tokov a vznikne nám downlink s rýchlosťou 225 Mbit/s. Pre podporu CA je potrebné zariadenie s podporou kategórie 6 a vyššie [29].

3.7 WiMAX

Technológia WiMAX (World Interoperability For Microwave Access) je ďalšou alternatívou širokopásmového bezdrôtového pripojenia. Využíva sa najmä pri budovaní metropolitných sietí. Vývoj začal už roku 1999 a patrí do rodiny štandardov IEEE 802.16. V prvopočiatkoch bola medzi základňovou stanicou a koncovým zariadením potrebná priama viditeľnosť. Frekvenčné pásmo ktoré bolo využívané dosahovalo hodnoty v intervale 10 až 66 GHz, čo je omnoho viac ako frekvencie využívané napríklad GSM sieťami. Teoretické prenosové rýchlosti dosahovali hodnoty 134 Mb/s, avšak s novým štandardom s označením 802.16a klesli na polovicu. Taktiež sa znížilo frekvenčné pásmo na interval 2 - 11 GHz, avšak za pomoci využitia OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) nebola potrebná priama viditeľnosť zariadení. Dosah technológie dosahuje maximálne 10 až 20 km v závislosti od rušivých prvkov spojenia. Progresom bol štandard

802.16e nazývaný aj mobilný WiMAX, ktorý dosahoval rýchlosť 15 Mb/s. Jeho dosah je približne 5 km. Technológiu WiMAX je možné využiť na dátové prenosy akými je napríklad prístup k Internetu, služba VoIP, prenos videa atď. Práve tieto vlastnosti sú dôvodom, prečo je táto služba pokladaná za alternatívu k technológiám ako xDSL, FTTX alebo dáta prostredníctvom mobilnej siete GSM, či UMTS. Otázka budúcnosti tejto služby je veľmi otázná, pretože napriek obrovskej prenosovej kapacite ktorou dokáže disponovať ju na poli prenosových rýchlostí a mobility mnohokrát porážajú štandardy 3G a LTE. Nasadenie WiMAXu nie je momentálne veľmi rozšírené a mobilní operátori na území Slovenskej a Českej republiky ju ku príkladu nevyužívajú [17].

3.8 Porovnanie generácií mobilného pripojenia

V nasledujúcom tabuľke (Tab. 2.) vidíme stručné porovnanie mobilných sietí, ktoré zaujmú koncového užívateľa najmä teoretickými prenosovými rýchlosťami.

Tab. 2. Porovnanie prenosových rýchlostí sietí 2G, 3G a 4G.

Generácia:	Štandard:	Download:	Upload:
2G	GPRS	80 kb/s	20 kb/s
2G	EDGE	236,8 kb/s	59,2 kb/s
2G	1xRTT	300 kb/s	150 kb/s
3G	UMTS (WCDMA)	384 kb/s	384 kb/s
3G	HSPA	14,4 Mb/s	5,76 Mb/s
3G	HSPA+	42 Mb/s	11,5 Mb/s
3G	EvDO Rev. A	3,1 Mb/s	1,8 Mb/s
3G	EvDO Rev. B	4,9 x n Mb/s*	1,8 x n Mb/s
4G	LTE	300 Mb/s	50 Mb/s
4G	LTE-A	3 Gb/s	1,5 Gb/s
4G	WiMAX Rel. 1	30- 40 Mb/s	17 Mb/s
4G	WiMAX Rel. 2	1 Gbit/s	376 Mb/s

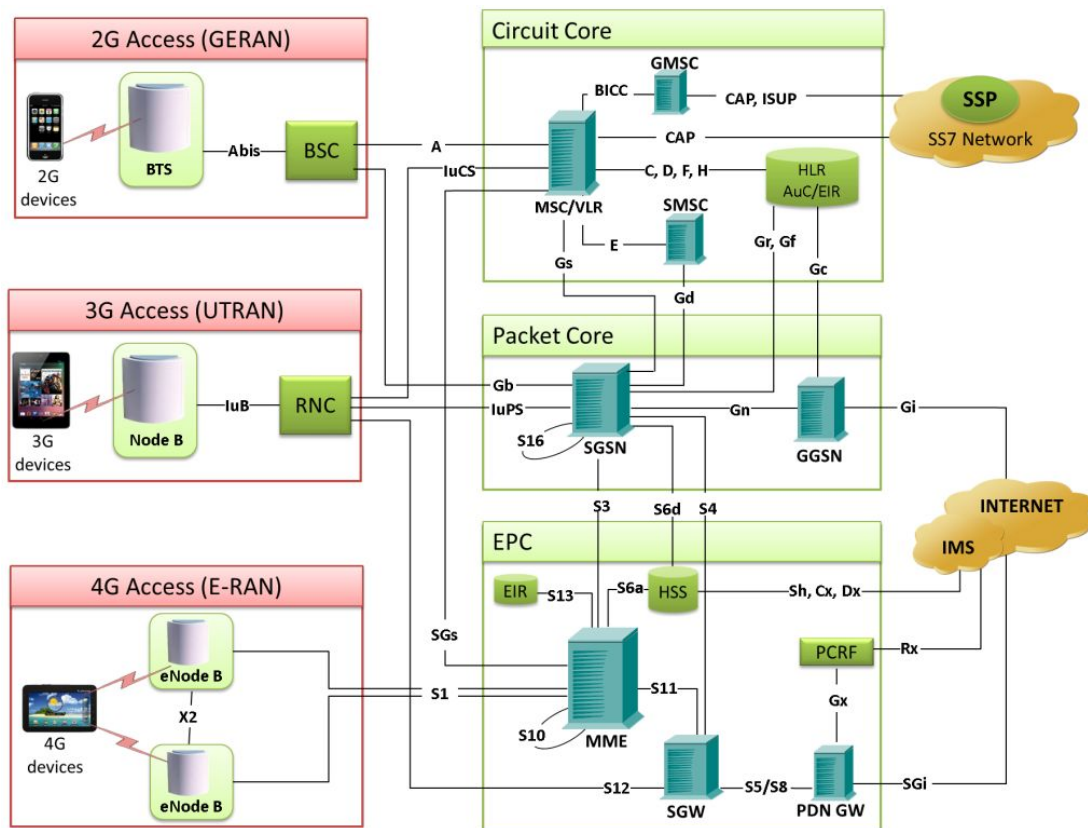
n - počet 1,25 MHz pásiem

4 BUDOVANIE SIETÍ

4.1 Mobilná sieť

4.1.1 Architektúra mobilnej siete operátora

Mobilní operátori sa snažia navzájom súperiť nie len v cenách, ale aj kvalite poskytovaných služieb. Je istým trendom a prestížou nasadzovať najnovšie technológie skôr ako konkurencia. Na jednej strane existujú zákazníci, ktorí sa o najnovšie technológie veľmi zaujímajú, no na druhej strane obrovské percento klientov tvorí presný opak a využíva mobilné zariadenie len veľmi výnimočne a aj to len na volania. Aby poskytovateľ mobilného pripojenia zabezpečil všeobecnú spokojnosť, potrebuje udržiavať svoje sieťové systémy nie len trendové, ale aj spätne kompatibilné. Dobrým príkladom je príchod nových a nových generácií mobilného pripojenia, kedy napríklad s nasadením funkcie VoLTE v sieťach štvrtej generácie musí operátor aj naďalej poskytovať najpoužívanejšiu, aj keď veľmi starú technológiu prenosu hlasu využívanú druhou generáciou. Dôležitým aspektom je taktiež aktuálne pokrytie operátora danou sieťou a samotné technológie, ktoré zákazníci využívajú.



Obr. 13. Architektúra mobilnej siete operátora[30].

Na obrázku (Obr. 13.) je možné vidieť architektúru mobilnej siete, ktorá zahŕňa siete 2G, 3G aj 4G. Na danom obrázku môžeme tiež vidieť progres vo vývoji danej siete ktorá sa stáva All-IP, čo značí plne paketové služby operátora.

4.1.2 Rádiová časť

Dôležitou súčasťou sieťovej architektúry mobilných operátorov je ich rádiová časť. Práve tá sa stará o vysokofrekvenčné prenosy dát a pokrýva široké percento populácie, pričom sa snaží poradiť si s fyzicky hmotnými i nehmotnými prekážkami. Aby nedochádzalo k vzájomnému rušeniu signálov, dochádza pravidelne k dražbám frekvenčných pásiem ktoré využívajú aj mobilní operátori. Vlastníctvo trvá vždy len určitú dobu a umožňuje operátorovi komerčne využívať získané frekvencie. Dražbu má na Slovensku na starosť RÚ (Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb), a v Česku ČTÚ (Český telekomunikačný úrad).

Operátori sa vždy snažia získať v dražbe čo najväčšiu šírku pásma, ktorú následne využijú pre nasadenie svojich najrýchlejších prenosových technológií. Zvykne sa dražiť niekoľko úrovní frekvenčných pásiem, pričom tie nižšie majú väčší dosah a lepšiu priepustnosť cez objekty. Práve šírenie rádiového signálu robí návrhárom mobilnej infraštruktúry neustále problém. Potrebujú riešiť otázky husto zaľudnených sídiel za účelom ich efektívneho pokrytia. V praxi sa práve na tento účel využíva počítačový software. Príkladom najproblematickejšieho pokrytia územia v rámci Českej a Slovenskej republiky je mesto Bratislava. Pri budovaní siete musia mobilní operátori brať do úvahy aj hranice dvoch susedných štátov, pričom ich rádiový signál nemôže prejsť za stanovenú vzdialenosť od hraníc. Tým sa stáva otázka pokrytia najhustejšie zaľudneného miesta v štáte veľmi tvrdým orieškom.

Veľmi dôležitým v súvislosti s rádiovou časťou siete je fakt, že koncový užívateľ nezískava predpísanú stanovenú rýchlosť. Vzhľadom na vytťaženosť siete, počet užívateľov pripojených v rovnakom bode, type mobilného zariadenia ktoré užívateľ vlastní, rýchlosti užívateľovho pohybu a ale hlavne terénnym podmienkam klesá praktická rýchlosť dátového prenosu mnohokrát o vyše než polovinu [31].

4.1.3 Podporované zariadenia

Napriek tomu, že vybudovanie mobilnej siete tvorí veľmi nákladnú položku, nie každý zákazník ma o ňu reálny záujem. Prekvapivo v prípade najnovšej 4G siete je penetrácia mobilných zariadení na českom a slovenskom trhu len 7 až 15 %. Operátori sa teda snažia presmerovať aktivitu týchto užívateľov na novo poskytovanú 4G sieť aj tým, že výrazne obmedzujú ponuku predávaných mobilných zariadení. Ponuka vo veľkej miere vyraduje mobilné zariadenia nepodporujúce 4G sieť, čo tvorí približne 90 % zariadení.

4.2 Pevná sieť

Progres nenastáva len v mobilných, ale aj pevných sieťach. Operátori neustále investujú peniaze buď do rozširovania už existujúcej pevnej siete, alebo k zvyšovaniu rýchlostí na už existujúcej infraštruktúre. V prípade DSL technológie je zvykom, že si poskytovateľ nebuduje ďalšiu paralelnú sieť, ale využíva služby iného poskytovateľa. Dobrým príkladom je napríklad sieť slovenského poskytovateľa Orange, ktorú pre svoje služby

DSL pripojenia využíva už existujúcu sieť Telekomu. Obdobným príkladom je české O2, ktoré sa taktiež delí o svoju metalickú sieť s ostatnými poskytovateľmi Internetu v krajine.

V posledných rokoch sa zväčša investuje do budovania tzv. FTTH sietí, čo predstavuje zavedenie optických vlákien priamo do bytu. Služba má obrovský potenciál najmä v oblasti prenosových kapacít a slovenský trh je aktuálne jedným z najdominantnejších v otázke pokrytia populácie týmto typom Internetového prístupu. Optické vlákna sa taktiež využívajú v kombinácií s metalickou štruktúrou, kedy sa hlavný dátový tok prenáša prostredníctvom optických káblov, a až tzv. posledná míľa je distribuovaná klientom prostredníctvom krútenej dvojlinky.

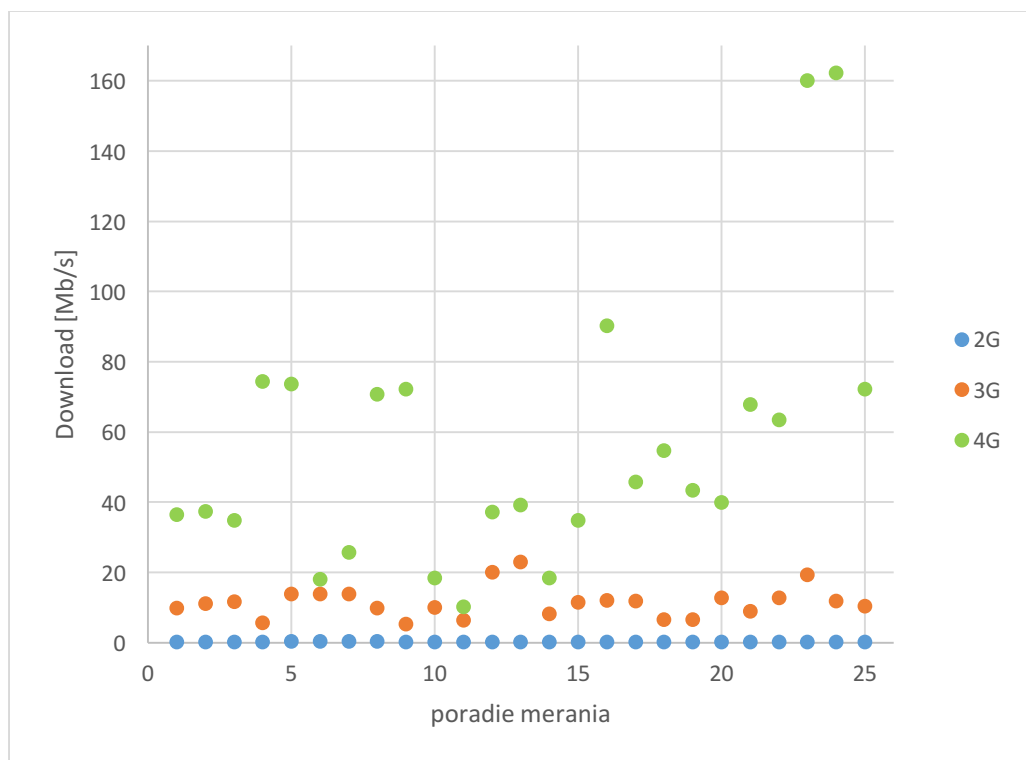
II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 PRENOSOVÉ RÝCHLOSTI

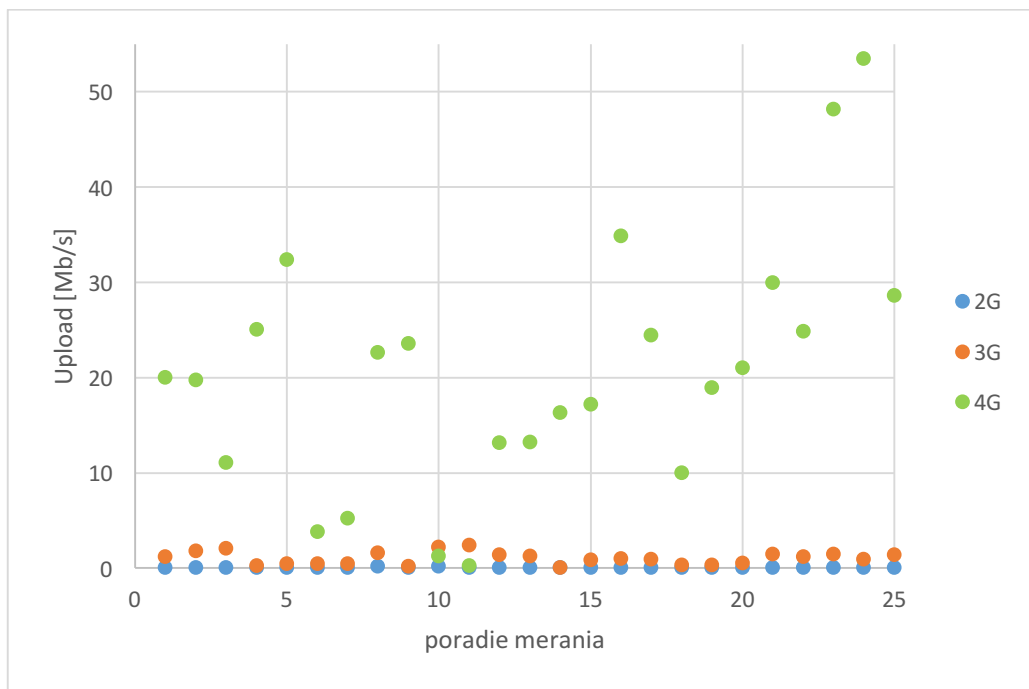
Poskytovatelia dátových služieb zvyknú v prípade svojich ponúkaných služieb udávať maximálne teoretické hodnoty v smere downlink a uplink. Táto kapitola je venovaná reálne nameraným hodnotám, v sieťach mobilných operátorov na území Slovenskej a Českej republiky.

5.1 Mobilné siete

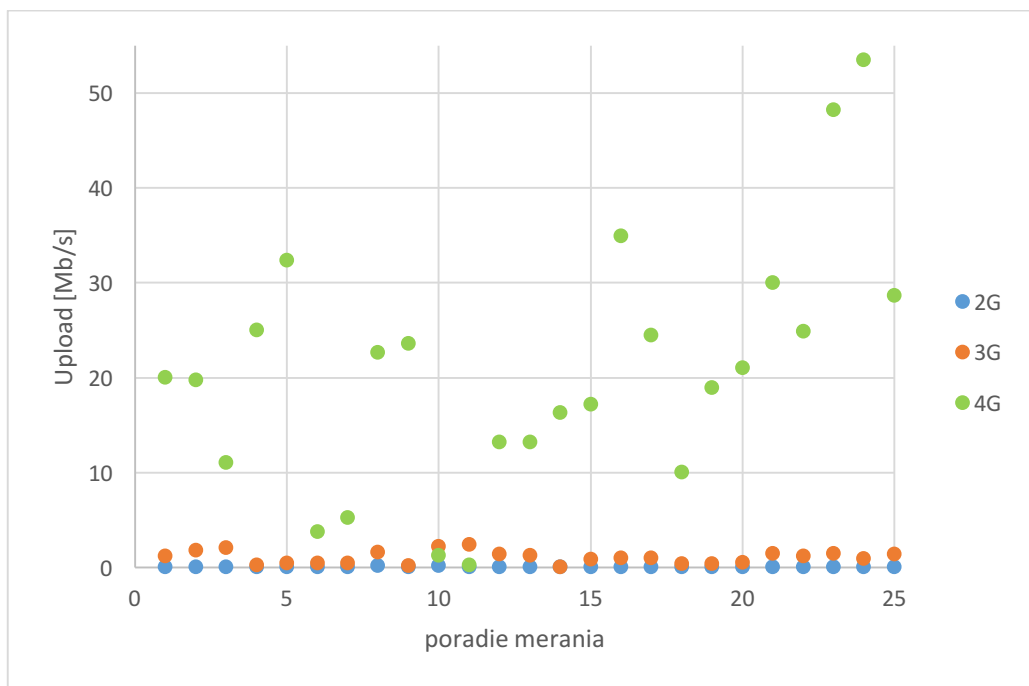
Namerané hodnoty boli zaznamenávané prostredníctvom mobilnej aplikácie speedtest.net. Dáta boli zaznamenávané staticky i za pohybu, v niektorých prípadoch aj v aute. Merania prebiehali v exteriéroch aj interiéroch, v rôznych lokalitách pre dosiahnutie širokej škály rôznych hodnôt. Za účelom objektívnosti boli hodnoty zaznamenávané v rôznych časoch počas dňa. V grafoch vidíme priebeh skutočných nameraných rýchlostí sťahovania a nahrávania dát spolu s dobou odozvy v mobilnej sieti operátorov. Merania boli uskutočňované pomocou 25 mobilných zariadení v sieťach 2G, 3G aj 4G.



Graf 1. Rýchlosť sťahovania dát v mobilnej sieti.



Graf 2. Rýchlosť odosielania dát v mobilnej sieti.



Graf 3. Doba odozvy dát v mobilnej sieti.

V grafoch (Graf 1. a Graf 2.) je možné vidieť skutočný progres v rýchlostiach sťahovania a odosielania dát s každou generáciou mobilnej siete. S rastúcou generáciou mobilného pripojenia stúpajú prenosové rýchlosti a klesá tzv. Ping. Najvyššia hodnota bola zaznamenaná v sieti slovenského Telekomu, kde sa podarilo v exteriéri v ranných

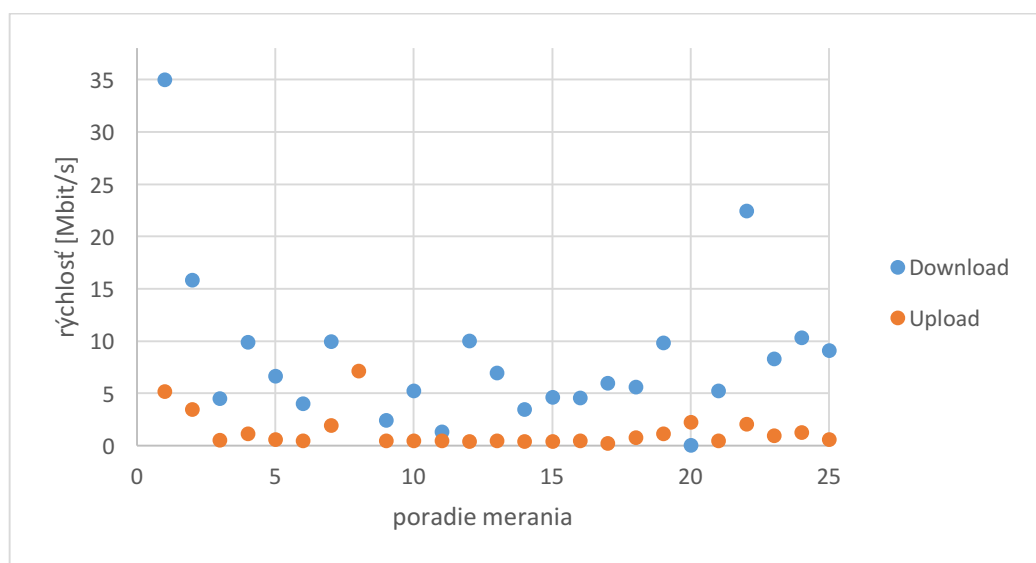
hodinách priamo na Bratislavskom sídlisku Petržalka zaznamenať hodnotu až 162 Mbit/s v smere downlink, a 53,5 Mbit/s v smere uplink. Operátor poskytuje v danej lokalite maximálne možné pripojenie spomedzi mobilných operátorov na území Slovenskej aj Českej republiky prostredníctvom technológie LTE-Advanced za použitia funkcie Carrier Agregation a MIMO 4x4, kedy je možné pomocou podporovaného zariadenia (v našom prípade Apple iPhone 6s Plus) dosiahnuť teoretické hodnoty až 300 Mbit/s. V laboratórnych podmienkach v tesnej blízkosti medzi anténami podporovaných zariadení, bez vyťaženia danej siete bola dosiahnutá maximálna rýchlosť tejto technológie 274 Mbit/s.

Skutočné komerčne namerané hodnoty sa v prípade 2G siete pohybovali na úrovni 80 - 95 %, v prípade 3G 15 - 70 %, a v prípade LTE na úrovni 10 - 60 % z teoretických dosiahnuteľných hodnôt.

5.2 Pevné siete

Získané dáta sú realizované prostredníctvom webovej stránky <http://www.speedtest.net>. Meranie prebiehalo v rôznych časoch počas dňa a bolo použité pripojenie zariadenia výlučne prostredníctvom Ethernetu.

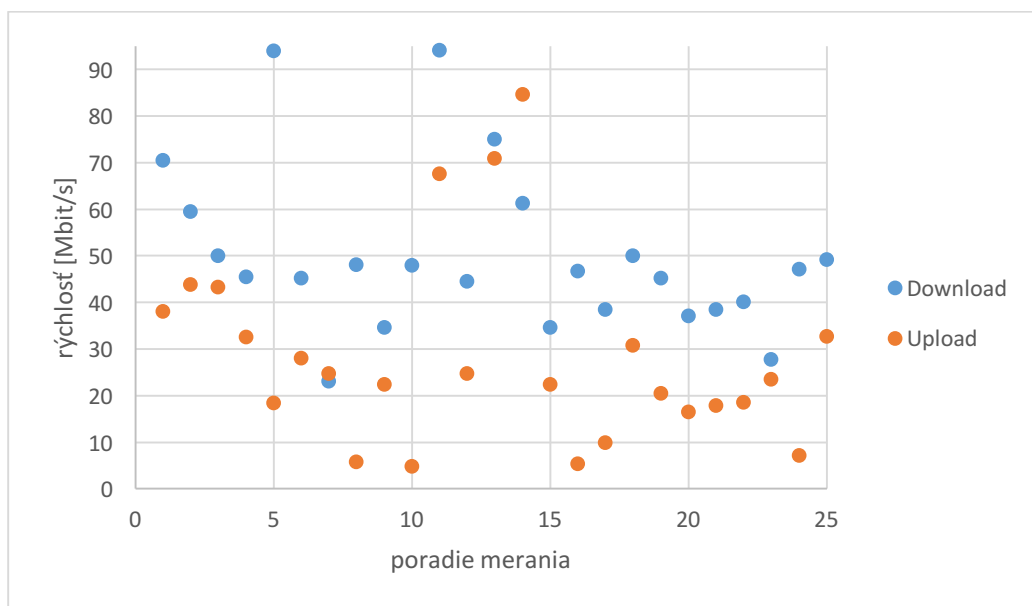
5.2.1 Metalická sieť



Graf 4. Download a Upload v pevnej xDSL sieti.

V grafe (Graf 4.) sa odzrkadľujú skutočné namerané hodnoty na pevnej metalickej sieti poskytovateľa. Uskutočnené merania prebiehali v rôznych lokalitách v rôznych hodinách počas dňa. Odberatelia využívali buď to technológiu ADSL, alebo VDSL. Pri VDSL technológiách vo všeobecnosti dosahovali lepšie výsledky najmä vďaka tomu, že sa táto technológia využíva ako tzv. posledná míľa pre optickú sieť poskytovateľa. Všeobecne je DSL technológia pokladaná za najpomalšiu komerčnú alternatívu pripojenia do siete Internet, ktorú nám môže mobilný operátor v dnešnej dobe poskytnúť.

5.2.2 Optická sieť



Graf 5. Download a Upload v pevnej optickej sieti.

V grafe (Graf 5.) je vykreslený prehľad rýchlostí sťahovania a nahrávania dát v optickej sieti poskytovateľa. Optická sieť je pokladaná za najrýchlejšiu komerčnú variantu pevného pripojenia na svete. Agregácia je 1:55, čo značí minimálnu prenosovú rýchlosť na úrovni 1/55 zo stanovenej teoretickej rýchlosti. Optická sieť je najmä na území Slovenskej republiky veľmi rozšírená, čím dosahujeme aj popredné priečky v pokrytí populácie v rámci celej Európy. Tento typ pevného pripojenia je dostupný najmä v mestách a ako vidieť na hodnotách grafu, je oveľa efektívnejšou voľbou ako pripojenie prostredníctvom metalickej siete. Kde hodnoty downloadu dosahovali v prípade xDSL sietí maximum, hodnoty optickej siete ešte len začínajú stúpať do závratných výšin.

6 PONÚKANÉ SLUŽBY MOBILNÝCH OPERÁTOROV

Trh mobilných operátorov sa už dávno nezameriava len na mobilné služby. Namiesto toho neustále hľadajú nové alternatívne zdroje príjmu, ktorými by obohatili svoju ponuku. V prípade dostatočného dopytu po službách a výhodnej cenovej návratnosti v odstupe nadvádzajúcich rokov sa operátorom ich investície rozhodne vyplácajú. Pokiaľ má operátor vybudovanú silnú infraštruktúru siete, je len na ňom ktoré zo širokopásmových služieb sa rozhodne ponúkať svojim klientom. Dátové služby majú obrovský potenciál či už ide o textovú, hlasovú či vizuálnu komunikáciu, alebo prístup k Internetu ruka v ruke s poskytovaním TV služieb, cloudového prístupu a mnoho iného.

6.1 Zoznam mobilných operátorov

V súčasnej dobe sa na území Českej a Slovenskej republiky nachádza niekoľko mobilných operátorov. V širokej verejnosti sú známi aj menší virtuálni operátori, ktorí si od tých pôvodných prenajímajú siete. Virtuálni operátori volia svoju vlastnú cenovú politiku nezávislú od operátora ktorého sieť si prenajímajú.

6.1.1 Slovenská republika:

- Telekom (virtuálny operátor: Juro)
- Orange (virtuálny operátor: FunFón)
- O2 – SK (virtuálny operátor: Tesco Mobile)
- SWAN (virtuálny operátor: 4ka)

6.1.2 Česká republika:

- Vodafone (virtuálny operátor: COOP Mobil, Fayn, Centropol Telecom, ...)
- T-Mobile (virtuálny operátor: 99mobile, Kaktus, BTS Mobil, ...)
- O2 – CZ (virtuálny operátor: Tesco Mobile, Emea, Emtéčko, Bonerix, ...)
- U:fon

*Na území Českej republiky sa nachádza vyše 50 virtuálnych mobilných operátorov.

6.2 Mobilní operátoři z pohľadu poskytovania služieb

Aktuálnym trendom súčasných telekomunikačných operátorov je komplexné poskytnutie čo najväčšieho množstva atraktívnych a hlavne kvalitných služieb zákazníkovi. Služby si môže zákazník spravovať na predajnom mieste, telefonicky alebo priamo cez e-shop. V mnohých prípadoch je zákazník zmluvne viazaný k využívaniu danej služby napríklad kvôli obmedzeniu plytvania financií pri inštalácii zariadenia (pevný internet), poprípade na úkor menšieho paušálneho poplatku za službu, či zľava na zariadenie. Operátoři sa predbiehajú nie len v cenách, ale hlavne aj v kvalite a množstve poskytovaných služieb. Mnohokrát je preto veľmi náročné zvoliť si toho správneho poskytovateľa. Na našom trhu sa ponuka operátorov veľmi líši. Zatiaľ čo u jedného operátora získame len volania a internet do telefónu, u iného to môže byť aj pevné internetové pripojenie, plnohodnotná TV s archívom, či osobný cloud. V nasledujúcom prehľade sa nachádza stručný prehľad pre zákazníka hľadajúceho optimálneho poskytovateľa služieb.

6.2.1 Služby mobilných operátorov

- **mobilné hlasové služby** – operátor umožňuje hlasové volania v sieti 2G. Mobilné zariadenia sa prioritne pripájajú na najnovšie dostupné generácie mobilnej siete. Pokiaľ však mobilný telefón prijíma alebo odosiela hlasový hovor, prepne sa do režimu 2G siete, kde funguje na technológií prepájania okruhových. Novodobou alternatívou je prenášanie hlasu prostredníctvom služby HD Voice alebo VoLTE, tú však nie všetci mobilní operátoři aktívne nasadzujú hlavne kvôli nízkej penetrácii podporujúcich zariadení. Väčšina operátorov nasadenie VoLTE momentálne testuje len v laboratórnych podmienkach a komerčné nasadenie v čase písania tejto práce v rámci českého a slovenského trhu nasadené len operátorom T-Mobile v Českej republike,
- **mobilný internet** – mobilní operátoři majú momentálne podporu sietí 2G/3G/4G. Zákazník si môže kúpiť dátovú SIM s prideleným dátovým mobilným číslom, ktorú vloží do svojho zariadenia. Zariadenie sa pripojí na čo najvyššiu generáciu mobilnej siete operátora vzhľadom na jeho kompatibilitu s danými štandardmi a pokrytie, v ktorom sa aktuálne nachádza. Medzi podporované zariadenia zaradujeme napríklad mobilné telefóny, tablety a modemy,

- **internet v mobile** – služba je fúziou mobilného internetu s mobilnou hlasovou službou. Služba je v dnešnej dobe preddefinovaná na všetkých mobilných hlasových službách automaticky,
- **pevné hlasové služby** – poskytovateľ umožňuje statické pripojenie hlasových služieb vo forme pevnej linky,
- **pevný optický internet** – služba vysokorýchlostného statického optického prístupu do siete Internet je každým rokom čím ďalej tým rozšírenejšia medzi užívateľmi. Nesie názov FTTH (optické vlákno do domu), čo zabezpečuje súčasne najrýchlejšie možné prenosové rýchlosti. Rýchlosť pripojenia sa mení hlavne v závislosti od vytáženosti siete v daný moment,
- **pevný internet DSL** – je službou vysokorýchlostného statického prístupu do siete Internet prostredníctvom pevnej telefonickej siete. Jej budovanie je teda omnoho menej nákladné. V mnohých prípadoch sa však nejedná len o čisto metalickú sieť, ale tzv. hybridnú sieť. Operátor smerom k účastníkovi vyšle dáta prostredníctvom optického vlákna, na ktoré následne nadväzuje metalika až do bytu odberateľa,
- **mobilná TV** – služba mobilnej televízie umožňuje sledovanie televíznych programov na smartphone, notebooku alebo tablete. Televízne programy má užívateľ možnosť sledovať za pomoci internetového pripojenia, napríklad aj prostredníctvom siete 3G, LTE alebo Wi-Fi pripojenia,
- **archív mobilnej TV** – jedná sa o doplnkové rozšírenie mobilnej TV služby, kedy si môže klient na svojom zariadení pozrieť už odvysielané relácie vybraných televíznych programov. Väčšinou má zákazník možnosť vybrať si z relácií, ktoré boli odvysielané v horizonte posledných dní, maximálne týždňov,
- **TV-** predstavuje službu sledovania aktuálneho vysielania vybraných televíznych programov. Televízny prenos je zabezpečený prostredníctvom pevnej telekomunikačnej siete operátora,
- **TV archív** – je pridanou hodnotou zákazníkovej TV služby. TV archív umožňuje prezeranie už uplynulých vysielaní vybraných staníc. Možnosť sa vzťahuje na televízne programy odvysielané v posledných uplynulých týždňoch,
- **SatTV** – predstavuje možnosť televízneho príjmu prostredníctvom satelitnej technológie.

6.2.2 Služby mobilných operátorov v Slovenskej republike

Tab. 3. Služby mobilných operátorov v Slovenskej republike.

	Telekom	Orange	O2-SK	4rka
hlas:				
2G	✓	✓	✓	✓
HD voice	✓	✓	✗	✗
VoLTE	✗*	✗*	✗	✗
data:				
internet v mobile	✓	✓	✓	✓
mobilný internet	✓	✓	✓	✓
pevné siete:				
pevná linka	✓	✓	✗	✗
xDSL	✓	✓	✗	✗
optický internet	✓	✓	✗	✗
mobilná TV:				
vysielanie	✓	✓	✗	✗
archív	✓	✓	✗	✗
filmotéka	✗	✓	✗	✗
TV:				
vysielanie	✓	✓	✗	✗
archív	✓	✓	✗	✗
filmotéka	✓	✓	✗	✗
SatTV:				
vysielanie	✓	✓	✗	✗

* služba je aktuálne vo fáze testovania

Tab. 4. Pokrytie populácie mobilnou sieťou v Slovenskej republike.

	Telekom	Orange	O2-SK	4rka
F-OFDM	20%	-	-	-
2G	99,9%	99,9%	96%*	0%*
3G	88,0%	93,0%	70,0%	-
LTE	75,5%	65,0%	25,0%	50,0%

* využitie národného roamingu siete Telekom

6.2.3 Služby mobilných operátorov v Českej republike

Tab. 5. Služby mobilných operátorov v Českej republike.

	Vodafone	T-Mobile	O2-CZ	U:fon
hlas:				
2G	✓	✓	✓	✓
HD voice	✓	✓	✗	✗
VoLTE	✗	✓	✗*	✗
data:				
internet v mobile	✓	✓	✓	✓
mobilný internet	✓	✓	✓	✓
pevné siete:				
pevná linka	✓	✓	✓	✗
xDSL	✓	✓	✓	✓
optický internet	✗	✗	✓	✗
mobilná TV:				
vysielanie	✗	✓	✓	✗
archív	✗	✓	✓	✗
filmotéka	✗	✓	✓	✗
TV:				
vysielanie	✗	✗	✓	✗
archív	✗	✗	✓	✗
filmotéka	✗	✗	✓	✗
SatTV:				
vysielanie	✗	✗	✗	✗

* služba je aktuálne vo fáze testovania

Tab. 6. Pokrytie populácie mobilnou sieťou v Českej republike.

	Vodafone	T-Mobile	O2-CZ	U:fon
CDMA 2000	-	-	80,0 %	76,0 %
2G	99,0 %	100,0 %	99,0 %	84,0 %
3G	Neuvedené	86,0 %	90,0 %	-
LTE	97,0 %	82,0 %	80,0 %	-

6.3 Porovnanie cien dátového pripojenia

V nasledujúcich bodoch je znázornené porovnanie rýchlostí, objemov dát a cien internetových balíkov u mobilných operátorov v Slovenskej a Českej republike. Kurz na prepočet meny je použitý, 1 € = 27 Kč.

6.3.1 Mobilná sieť

Operátori svoje dátové pripojenie ponúkajú v dvoch základných variantoch. Internet v mobile je služba ponúkaná ako doplnková služba k mobilnej hlasovej službe, zatiaľ čo spojenie Mobilný internet je používané pre čisto dátovú službu, pri ktorej zákazník dostane dátovú SIM. Poskytovatelia zvyknú ponúkať dátové balíky v rôznych cenách v závislosti od viazanosti, pri rôznych prenosových rýchlostiach v závislosti od dostupnej technológie operátora a v rôznych objemoch. V takmer každom prípade po spotrebovaní povoleného objemu dát dôjde len ku spomaleniu dátového toku na strane koncového užívateľa. Podľa štatistík mobilných operátorov zvykne užívateľ spotrebovať prostredníctvom 3G siete približne 300 MB dát, zatiaľ čo na LTE je to v priemere až 1,3 GB dát.

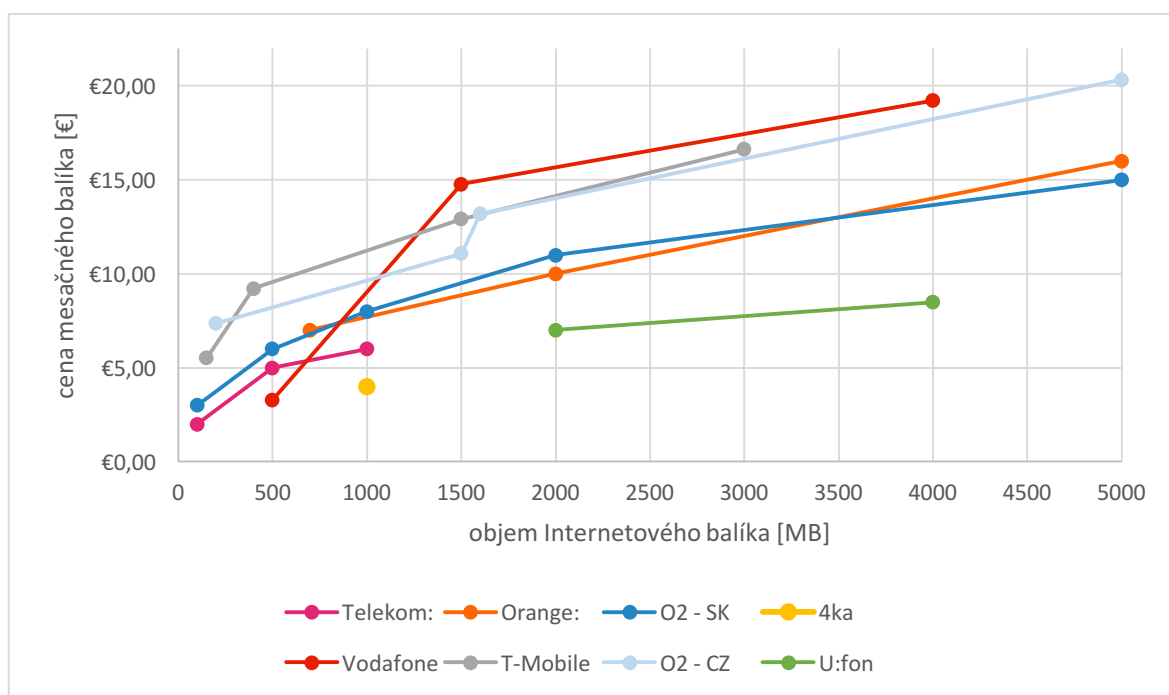
Tab. 7. Internet v mobile v Slovenskej republike.

objem dát:	bez viazanosti:		plná rýchlosť:	po prekročení:
Telekom				
100 MB	1,99 €	53,73 Kč	300/100 Mb/s	64 kb/s
500 MB	4,99 €	134,73 Kč	300/100 Mb/s	64 kb/s
1000 MB	5,99 €	161,73 Kč	300/100 Mb/s	64 kb/s
Orange				
700 MB	6,99 €	188,73 Kč	225/50 Mb/s	128 kb/s
2000 MB	9,99 €	269,73 Kč	225/50 Mb/s	128 kb/s
5000 MB	15,99 €	431,73 Kč	225/50 Mb/s	128 kb/s
O2 - SK				
100 MB	3,00 €	81,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
500 MB	6,00 €	162,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
1000 MB	8,00 €	216,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
2000 MB	11,00 €	297,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
5000 MB	15,00 €	405,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
4ka				
*1000 MB	1,00 €	27,00 Kč	50/10 Mb/s	spoplatnenie
1000 MB	4,00 €	108,00 Kč	50/10 Mb/s	spoplatnenie

*služba je využiteľná len vo vlastnej sieti operátora

Tab. 8. Internet v mobile v České republice.

objem dát:	bez viazanosti:		plná rychlost:	po překročení:
Vodafone				
500 MB	3,30 €	89,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
1500 MB	14,78 €	399,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
4000 MB	19,22 €	519,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
T-Mobile				
150 MB	5,52 €	149,00 Kč	225/50 Mb/s	64 kb/s
400 MB	9,22 €	249,00 Kč	225/50 Mb/s	64 kb/s
1500 MB	12,93 €	349,00 Kč	225/50 Mb/s	64 kb/s
3000 MB	16,63 €	449,00 Kč	225/50 Mb/s	64 kb/s
O2 - CZ				
200 MB	7,37 €	199,00 Kč	185/55 Mb/s	64 kb/s
1500 MB	11,07 €	299,00 Kč	185/55 Mb/s	64 kb/s
1600 MB	13,19 €	356,00 Kč	185/55 Mb/s	64 kb/s
5000 MB	20,33 €	549,00 Kč	185/55 Mb/s	64 kb/s
U:fon				
2000 MB	7,00 €	189,00 Kč	3,1/1,8 Mb/s	64 kb/s
4000 MB	8,48 €	229,00 Kč	3,1/1,8 Mb/s	64 kb/s



Graf 6. Objem a cena datových balíků Internetu v mobile.

Tab. 9. Mobilný internet v Slovenskej republike.

objem dát:	s viazanosťou:		bez viazanosti:		plná rýchlosť:	po prekročení:
Telekom						
2000 MB	9,99 €	269,73 Kč	11,99 €	323,73 Kč	150/50 Mb/s	64 kb/s
5000 MB	17,99 €	485,73 Kč	23,18 €	625,86 Kč	150/50 Mb/s	64 kb/s
10000 MB	25,99 €	701,73 Kč	31,25 €	843,75 Kč	150/50 Mb/s	64 kb/s
Orange						
1500 MB	9,99 €	269,73 Kč	9,99 €	269,73 Kč	150/50 Mb/s	128 kb/s
6000 MB	17,99 €	485,73 Kč	17,99 €	485,73 Kč	150/50 Mb/s	128 kb/s
12000 MB	23,99 €	647,73 Kč	23,99 €	647,73 Kč	150/50 Mb/s	128 kb/s
35000 MB	34,99 €	944,73 Kč	34,99 €	944,73 Kč	150/50 Mb/s	128 kb/s
O2 - SK						
100 MB	-	-	3,00 €	81,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
500 MB	-	-	6,00 €	162,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
1000 MB	-	-	8,00 €	216,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
2000 MB	-	-	11,00 €	297,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
5000 MB	-	-	15,00 €	405,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
7000 MB	-	-	20,00 €	540,00 Kč	73/25 Mb/s	48 kb/s
4ka						
*1000 MB	-	-	1,00 €	27,00 Kč	50/10 Mb/s	spoplatnenie
1000 MB	-	-	4,00 €	108,00 Kč	50/10 Mb/s	spoplatnenie
100 GB*	-	-	5,00 €	135,00 Kč	50/10 Mb/s	1 Mbit/s

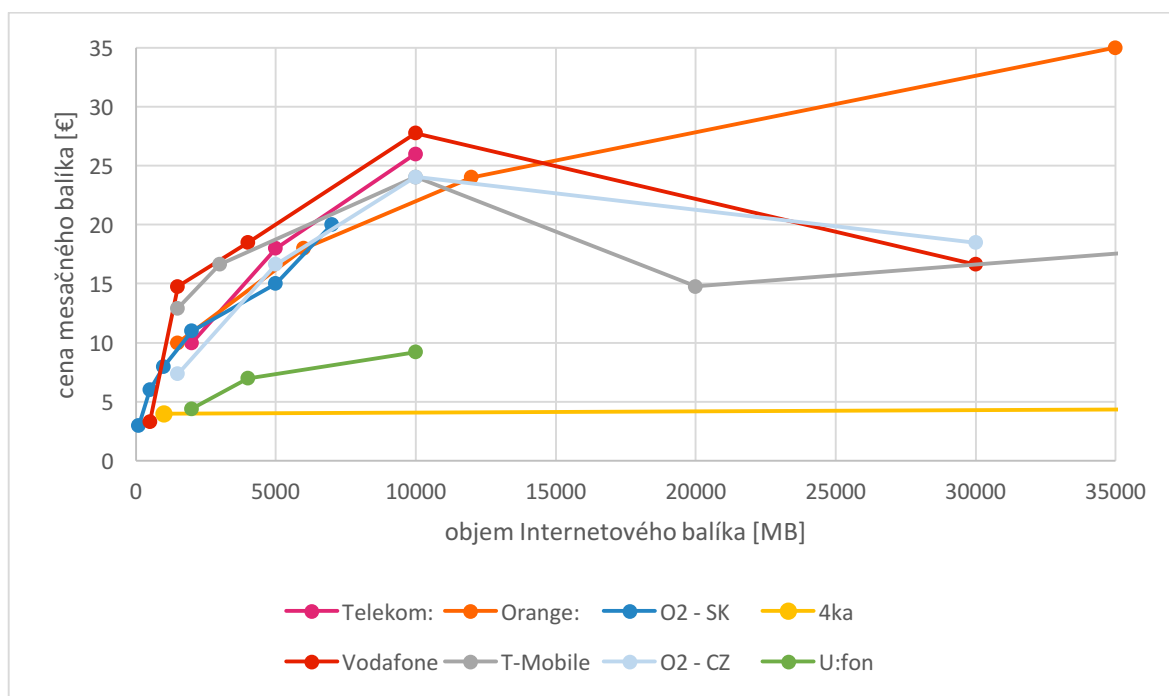
*služba je využitelná len vo vlastnej sieti operátora

Tab. 10. Mobilný internet v Českej republike.

objem dát:	s viazanosťou:		bez viazanosti:		plná rýchlosť:	po prekročení:
Vodafone						
500 MB	3,30 €	89,00 Kč	9,22 €	249,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
1500 MB	14,78 €	399,00 Kč	14,78 €	399,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
4000 MB	18,48 €	499,00 Kč	19,22 €	519,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
10000 MB	27,74 €	749,00 Kč	37,00 €	999,00 Kč	220/35 Mb/s	20 kb/s
T-Mobile:						
1500 MB	12,93 €	349,00 Kč	12,93 €	349,00 Kč	42/5 Mb/s	64 kb/s
3000 MB	16,63 €	449,00 Kč	16,63 €	449,00 Kč	42/5 Mb/s	64 kb/s
10000 MB	24,04 €	649,00 Kč	24,04 €	649,00 Kč	225/37 Mb/s	64 kb/s
O2:						
1500 MB	7,37 €	199,00 Kč	11,07 €	299,00 Kč	185 Mb/s	64 kb/s
5000 MB	16,63 €	449,00 Kč	20,33 €	549,00 Kč	185 Mb/s	64 kb/s
10000 MB	24,04 €	649,00 Kč	27,74 €	749,00 Kč	185 Mb/s	64 kb/s
U:fon						
2000 MB	4,41 €	119,00 Kč	7,00 €	189,00 Kč	3,1/1,8 Mb/s	64 kb/s
4000 MB	7,00 €	189,00 Kč	8,48 €	229,00 Kč	3,1/1,8 Mb/s	64 kb/s
10000 MB	9,22 €	249,00 Kč	12,93 €	349,00 Kč	3,1/1,8 Mb/s	64 kb/s
∞ MB	18,48 €	499,00 Kč	25,52 €	689,00 Kč	3,1/1,8 Mb/s	64 kb/s

Tab. 11. Internet bez drátu v České republice.

objem dát:	s viazanosťou:		bez viazanosti:		plná rýchlosť:	po prekročení:
Vodafone						
30 GB	16,63 €	449,00 Kč	20,52 €	554,00 Kč	8/2 Mb/s	256 kb/s
T-Mobile						
20 GB	14,78 €	399,00 Kč	-	-	20/5 Mb/s	stop
40 GB	18,48 €	499,00 Kč	-	-	40/10 Mb/s	stop
100 GB	44,41 €	1 199,00 Kč	-	-	100/25 Mb/s	stop
O2 - CZ						
30 GB	18,48 €	499,00 Kč	27,74 €	749,00 Kč	20/2 Mb/s	64 kb/s
30 GB	22,19 €	599,00 Kč	31,44 €	849,00 Kč	40/2 Mb/s	64 kb/s



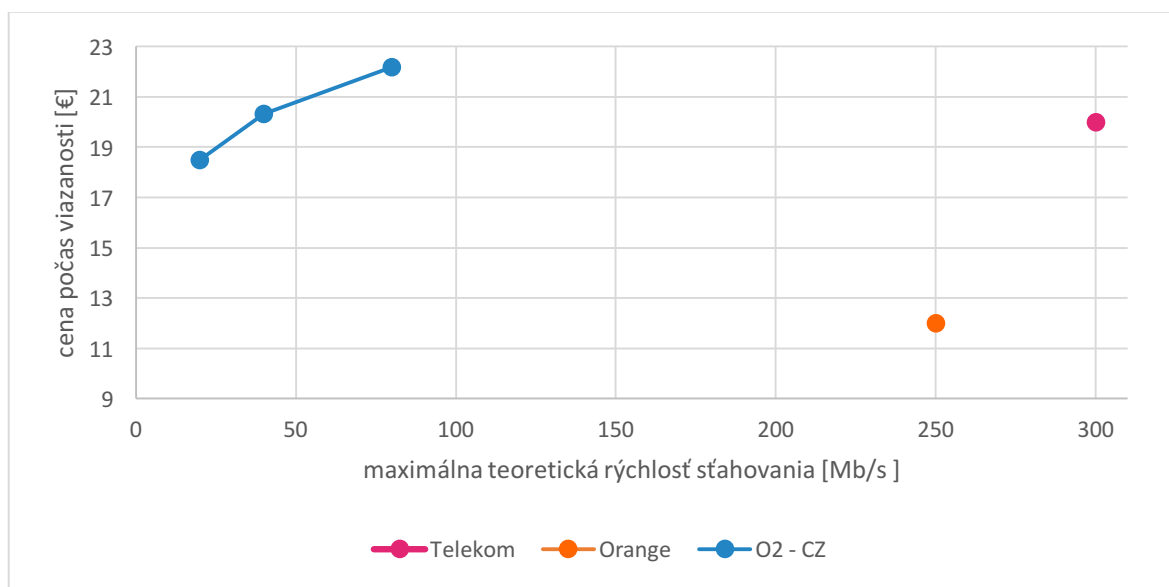
Graf 7. Objem a cena dát mobilného internetu.

Z tabuliek a grafov môžeme vidieť, že napriek väčšiemu pokrytiu populácie najmodernejšou generáciou mobilných sietí sú poplatky v Českej republike vyššie ako na Slovensku. Českí operátori však využívajú v porovnaní so slovenským trhom alternatívny zdroj príjmu vo forme tzv. Internetu bez drátu, ktorý využíva potenciál vybudovanej štruktúry siete mobilných operátorov. Zákazníkovi je tak ponúknutý Wi-Fi router so zabudovaným modemom, ktorý využíva lacnejšiu formu mobilného internetu pre koncového zákazníka.

6.3.2 Optická sieť

Tab. 12. Pripojenie do optickej siete v Slovenskej a Českej republike.

plná rýchlosť:	s viaznosťou:		bez viaznosti:	
Telekom				
6/0,5 Mb/s	10,00 €	270,00 Kč	15,00 €	270,60 Kč
40/4 Mb/s	15,00 €	405,00 Kč	20,00 €	270,60 Kč
300/30 Mb/s	20,00 €	540,00 Kč	25,00 €	270,60 Kč
Orange				
250/15 Mb/s	11,99 €	323,73 Kč	16,99 €	541,20 Kč
O2 - CZ				
20/2 Mb/s	18,48 €	499,00 Kč	24,04 €	649,00 Kč
40/4 Mb/s	20,33 €	549,00 Kč	25,89 €	699,00 Kč
80/8 Mb/s	22,19 €	599,00 Kč	27,74 €	749,00 Kč



Graf 8. Cena a rýchlosť dátového pripojenia v optickej sieti.

V súvislosti s optickou sieťou sa na slovenskom trhu predbiehajú mobilní operátori Orange a Telekom v pokrývaní domácností, poskytnutí čo najvyšších prenosových rýchlostí a cene svojej optiky. V Českej republike chýba na poli mobilných operátorov firme O2 – CZ konkurenčná spoločnosť s ktorou by súperila.

6.3.3 Metalická sieť

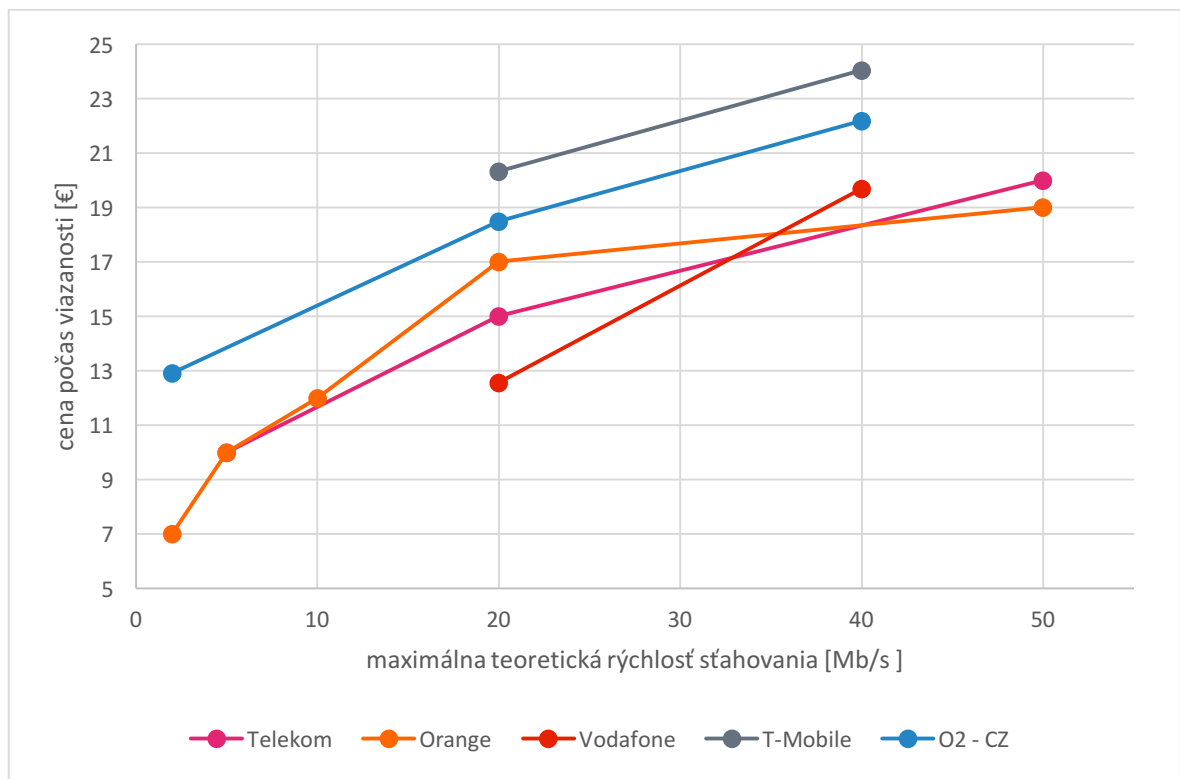
Tab. 13. Pevné pripojenie xDSL v Slovenskej republike.

plná rýchlosť:	s viazanosťou:		bez viazanosti:		objem:	spomalenie:	tech.:
Telekom							
4/0,5 Mb/s	10 €	270 Kč	15 €	405 Kč	300 GB*	256 kb/s	VDSL
2/0,5 Mb/s	10 €	270 Kč	15 €	405 Kč	300 GB*	256 kb/s	ADSL
5/0,5 Mb/s	15 €	405 Kč	20 €	540 Kč	300 GB*	256 kb/s	ADSL
20/2 Mb/s	15 €	405 Kč	20 €	540 Kč	300 GB*	256 kb/s	VDSL
10/1 Mb/s	20 €	540 Kč	25 €	675 Kč	300 GB*	256 kb/s	ADSL
50/5 Mb/s	20 €	540 Kč	25 €	675 Kč	300 GB*	256 kb/s	VDSL
Orange							
2/0,5 Mb/s	7 €	189 Kč	13 €	351 Kč	300 GB*	128 kb/s	ADSL
5/0,5 Mb/s	10 €	270 Kč	15 €	405 Kč	300 GB*	128 kb/s	ADSL
10/1 Mb/s	12 €	324 Kč	16 €	432 Kč	300 GB*	128 kb/s	ADSL
20/1 Mb/s	17 €	459 Kč	22 €	594 Kč	300 GB*	128 kb/s	VDSL
50/5 Mb/s	19 €	513 Kč	24 €	648 Kč	300 GB*	128 kb/s	VDSL

*obmedzenie nadobúda približne 0,5% odberateľov pripojenia

Tab. 14. Pevné pripojenie xDSL v Českej republike.

plná rýchlosť:	s viazanosťou:		bez viazanosti:		technológia
Vodafone					
2/0,25 Mb/s	-	-	13,93 €	376,00 Kč	ADSL
8/0,5 Mb/s	12,56 €	339,00 Kč	24,63 €	665,00 Kč	ADSL
16/0,75 Mb/s	12,56 €	339,00 Kč	24,63 €	665,00 Kč	ADSL
20/2 Mb/s	12,56 €	339,00 Kč	24,63 €	665,00 Kč	VDSL
40/2 Mb/s	19,70 €	532,00 Kč	32,85 €	887,00 Kč	VDSL
T-Mobile					
8/0,5 Mb/s	20,33 €	549,00 Kč	26,11 €	705,00 Kč	ADSL
20/2 Mb/s	20,33 €	549,00 Kč	26,11 €	705,00 Kč	VDSL
16/0,8 Mb/s	24,04 €	649,00 Kč	29,59 €	799,00 Kč	ADSL
40/2 Mb/s	24,04 €	649,00 Kč	29,59 €	799,00 Kč	VDSL
O2 - CZ					
2/0,25 Mb/s	12,93 €	349,00 Kč	14,96 €	404,00 Kč	VDSL/ADSL
8/0,5 Mb/s	18,48 €	499,00 Kč	28,04 €	757,00 Kč	ADSL
16/0,75 Mb/s	22,19 €	599,00 Kč	31,78 €	858,00 Kč	ADSL
20/2 Mb/s	18,48 €	499,00 Kč	28,04 €	757,00 Kč	VDSL
40/4 Mb/s	22,19 €	599,00 Kč	31,78 €	858,00 Kč	VDSL



Graf 9. Cena a rýchlosť dátového pripojenia v metalickej sieti.

6.4 Porovnanie Internetových služieb z pohľadu užívateľa

Na trhu Slovenskej a Českej republiky sa nachádzajú poprední a inovatívni operátori ponúkajúci rôzne kvality svojich služieb. Táto kvalita sa odvíja od infraštruktúry siete operátora a výšky poplatku, ktorý zákazník tomuto operátorovi platí. Ponuka výberu mobilného operátora je dostačujúca a je na zvážení zákazníka ktorý poskytovateľ je pre neho optimálnou voľbou. Rozhodujúce je pre klienta uvedomenie si, nakoľko prejavuje záujem o mobilné a pevné hlasové služby, dátové služby, pevný internet, alebo televíziu.

Pripojenie do siete Internet je v dnešnej dobe prakticky nevyhnutnosťou. Na strane poskytovateľa sa stretávame s tromi spôsobmi jeho poskytovania. Je to pripojenie mobilné, metalické a optické.

6.4.1 Mobilné pripojenie

Tento typ pripojenia do siete Internet zabezpečuje maximálnu mobilitu zákazníka. Mobilné pripojenie je využívané v zariadeniach akým je mobilný telefón, tablet, alebo modem. Služba je komfortná a už v dnešnej dobe dokáže prekonať prenosové rýchlosti pevného pripojenia. Nevýhodou tohto spôsobu pripojenia je obmedzený objem dát, ktorý môžeme

plnou rychlostí využívat. Po překročení daného objemu vo většine případov dôjde len ku spomaleniu prenosovej rýchlosti do začiatku nového fakturačného obdobia. Spomalenie je však natoľko pomalé, že je prakticky nevyužitelné. Daný spôsob pripojenia do siete je výhodný pre cestujúcich klientov s nízkymi požiadavkami na objem prenesených dát.

Na Slovensku a v Českej republike je pokrytie najmodernejšou mobilnou sieťou na veľmi dobrej úrovni. Prakticky celá populácia je pokrytá, pričom vyššie prenosové rýchlosti dosahuje zákazník hlavne v zaľudnených oblastiach. V odľahlých sídlach sa zákazník musí uspokojiť s pomalšou alternatívou akou je pripojenie tretej generácie, prinajhoršom 2G. Je na zväžení klienta, ktorého operátora uprednostní a ktorý balík služieb si za priateľskú cenu dopraje. V porovnaní mobilnej siete medzi Slovenskou a Českou republikou je možné všimnúť si zaujímavých rozdielov. Český trh ponúka širšie pokrytie populácie, avšak mobilné služby sú pri rovnakých dátových balíkoch trochu vyššie ako na Slovensku. Český trh navyše využíva potenciál vybudovanej 4G siete naplno, o čom svedčí napríklad ponuka tzv. Internetu bez drátu, ktorá na Slovensku zatiaľ nie je plnohodnotne využitá.

6.4.2 Metalické pripojenie

Vybudovanú infraštruktúru pevnej telefónnej siete využívajú mnohí mobilní operátori na poskytovanie statického pripojenia do siete Internet. Služba je výhodná, pokiaľ má klient záujem o permanentný spôsob pripojenia svojej domácnosti do siete. Internetové pripojenie nie je vo väčšine případov dátovo obmedzené a rýchlosť závisí od rôznych parametrov akými je napríklad aktuálne vyťaženie siete a vzdialenosť od ústredne. S týmito rastúcimi parametrami klesá rýchlosť. Výhodou tohto typu pripojenia je jej široká dostupnosť v mnohých domácnostiach.

6.4.3 Optické pripojenie

Najrýchlejší a najstabilnejší spôsob pripojenia prostredníctvom optického vlákna nemá bohužiaľ toľko klientov, čo v prípade technológie xDSL. Optika je niekoľkonásobne rýchlejšou alternatívou ako samotné DSL pripojenie a poskytovatelia pracujú na jej maximálnom rozšírení na území oboch štátov. V prípade, že má klient záujem o pevné pripojenie do domácnosti, stáva sa omnoho efektívnejšou voľbou ako metalická sieť.

ZÁVER

V úvodnej časti boli spracované technológie dátového prístupu do telekomunikačnej siete, ktoré využívajú mobilní operátori v Slovenskej a Českej republike. Podrobne bol priblížený vývoj mobilnej siete, ktorá najmä vo svojej rádiovnej časti ubehla najväčší kus cesty. Boli popísané mobilné technológie od základného prenosu hlasu až po vysokorýchlostné dátové pripojenia dostupné mobilným užívateľom. Okrem mobilného pripojenia mnohí z mobilných operátorov ponúkajú taktiež pevné pripojenie do siete Internet. Aj tieto technológie dátového prístupu boli rozdelené, a to na skupinu optickej a metalickej xDSL siete. V oblasti telekomunikačnej siete boli popísané rôzne architektúry a štandardy sprevádzajúce pripojenie klienta do siete Internet. Popísaná bola aj problematika spojená s budovaním týchto sietí.

V nasledujúcej časti práce bola podrobne analyzovaná ponuka všetkých mobilných operátorov na území Slovenskej, aj Českej republiky. Vyhotovené tabuľky a grafy poukazujú na rôznorodosť týchto dvoch telekomunikačných trhov v oblasti poskytovania služieb akými sú napríklad mobilné volania, pevné volania, mobilné a pevné dátové služby, či TV. Rozdiely vidieť napríklad aj v množstve pokrytej populácie najmodernejšou LTE sieťou a cenami za poskytované služby. Pozoruhodná je tiež rýchlosť, s akou nasadzujú českí operátori najnovšie 4G siete. Pokrytá je na území Českej republiky prakticky celá populácia, zatiaľ čo na Slovensku sa operátori predhávajú na úrovni približne len 70 %. Pokrytie je v Čechách tak kvalitné, že sa miestni operátori rozhodli využiť vybudovanej 4G siete ako čiastočnú náhradu pre užívateľov, ktorí nemajú možnosť pevného prístupu do siete Internet. Na druhej strane je výhodou slovenských operátorov v porovnaní s českým trhom lacnejšia ponuka mobilných služieb. V oblasti pevného pripojenia Slovenská republika nasadzuje optickú sieť celoplošne raketovou rýchlosťou, čo umožňuje klientom pripojenie vyššou rýchlosťou a dokonca za nižšiu cenu ako je tomu v Českej republike. U všetkých operátorov platí, že prostredníctvom svojej vybudovanej siete za účelom hľadania alternatívnych zdrojov príjmu rozširujú svoju ponuku o služby využívajúce existujúceho dátového pripojenia. Veľmi dobrým príkladom sú doplnkové služby TV, ktoré umožňujú sledovať už odvysielané relácie a to dokonca aj na mobilných zariadeniach s množstvom ďalších zaujímavých funkcií. Je len teda otázkou času a kreativity poskytovateľov, aké ďalšie služby zaradia do svojej jedinečnej ponuky.

Predpokladám, že táto práca bude prínosom najmä pre ľudí, ktorí si chcú obohatiť svoje vedomosti v oblasti telekomunikačných sietí a zaujímajú sa o porovnanie slovenského a českého telekomunikačného trhu na poli mobilných operátorov. Prínosom môže byť taktiež porovnanie cien a dostupnosti mobilných a pevných telekomunikačných služieb v prípade rozhodovania sa čitateľa medzi ponukami jednotlivých mobilných operátorov na území Slovenskej a Českej republiky.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] History of Technology. *Electropaedia: Battery and Energy Technologies* [online]. United Kingdom, 2015 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/history.htm>
- [2] WHEEN, Andrew. *Dot-Dash to Dot.com: How Modern Telecommunications Evolved from the Telegraph to the Internet*. 1. New York: Springer-Verlag, 2011. ISBN 978-144-1967-602.
- [3] JIROVSKÝ, Václav. *Vademecum správce sítě*. 1. vyd. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-716-9745-1.
- [4] Optical fibre cable. *Techimind: Computer Sc IT & Management* [online]. United Kingdom, 2010 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://techimind.blogspot.cz/2010/08/optical-fibre-cable.html>
- [5] DOSTÁLEK, Libor a Alena KABELOVÁ. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 426 s. ISBN 80-7226-323-4.
- [6] Fiber-to-the-x (FTTx) projects architectures and solution. *FOT: Fiberoptictel* [online]. Huangpu, 2015 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.fiberoptictel.com/diy-fttx-projects-design-architectures/>
- [7] P2P & P2MP data network. *Nextgen* [online]. Bangladesh, 2003 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.nextgen.net.bd/index.php/services/p2p-a-p2mp-data-network>
- [8] Optický přístup (GPON technológia). *Telekom: Mobilné telefóny, Paušály, Mágio Internet a Televízia* [online]. Bratislava, 2015 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <https://www.telekom.sk/wiki/ostatne/opticky-pristup-gpon-technologie>
- [9] FOT: APON, BPON, EPON, GPON and WDM PON Brief Talk. *FOT: Fiberoptictel* [online]. 2013 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.fiberoptictel.com/apon-bpon-epon-gpon-and-wdm-pon-brief-talk/>

- [10] BIGELOW, Stephen J. *Mistrovství v počítačových sítích: správa, konfigurace, diagnostika a řešení problémů*. vyd. 1. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0178-9.
- [11] KUROSE, James F. a Keith W. ROSS. *Počítačové sítě*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 622 s. ISBN 978-80-251-3825-0.
- [12] RJ Twisted Pair Cables. *RJ-Glossary: the rj website - all about registered jacks and plugs* [online]. 2017 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.rj45.ws/cable.html>
- [13] RJ45 for Lan and ISDN, PC Interface 101. *Tom's Hardware: The Authority On Tech* [online]. 2005 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.tomshardware.com/reviews/pc-interfaces-101,1177-9.html>
- [14] Quiz, Homework last class, dBs, Nyquist & Shannon, Noise, Transmission lines, Fiber, ISDN, DSL, Cable, *SlidePlayer.com* [online]. ©2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/6499060/>
- [15] Metalický přístup (xDSL technologie). *Telekom: Mobilné telefóny, Paušály, Mágio Internet a Televízia* [online]. Bratislava, 2015 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <https://www.telekom.sk/wiki/ostatne/metalicky-pristup-xdsl-technologie>
- [16] Broadband DSL (ADSL, SDSL). *ISPReview UK* [online]. Bratislava [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: http://www.ispreview.co.uk/broadband_DSL.php
- [17] Technologies. *3GPP: A Global Initiative* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/technologies/>
- [18] MobilIDnes: Co přináší technologie mobilního internetu Flash-OFDM? *Mobil: Vše o mobilech, operátorech a telekomunikacích* [online]. 2005 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/co-prinasi-technologie-mobilniho-internetu-flash-ofdm-ppt-/mobilni-operatori.aspx?c=A050116_190349_mob_operatori_eck
- [19] All about the Technology. *ITU: International Telecommunication Union* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/technology/>

- [20] 3G UMTS / WCDMA Network Architecture. *Radio-Electronics: Resources and analysis for electronics engineers* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-network-architecture.php>
- [21] Ako fungujú GSM siete. *Fony.sk: žijeme telefónmi* [online]. Trnava, 2013 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.fony.sk>
- [22] GTA/UFRJ: Grupo: 4G - LTE/LTE-A. *GTA/UFRJ: Grupo de Teleinformática E Automacao* [online]. Portugal, 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_v1_2014_2/rafaelreis/
- [23] 3G (UMTS). *Fony.sk: žijeme telefónmi* [online]. Trnava, 2009 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <http://www.fony.sk>
- [24] SMS in 2G/3G. *Real Time Communication: VoLTE, RCS, IMS, SIP, WebRTC, IoT/M2M and all the stuff around*. [online]. Czech Republic, 2014 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <https://realtimerecommunication.wordpress.com/tag/gsm/>
- [25] Technologie mobilního internetu – od CSD po LTE -Advanced (vědecké okénko). *Mobilizujeme* [online]. Praha, 2012 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <http://www.mobilizujeme.cz>
- [26] LTE SAE System Architecture Evolution. *Radio-Electronics: Resources and analysis for electronics engineers* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/sae-system-architecture-evolution-network.php>
- [27] What's the difference between 4G and LTE? *Digitaltrends* [online]. Portland, 2015 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/mobile/4g-vs-lte/>
- [28] LTE Network Design and Deployment Strategy. *ZTE* [online]. 2011 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: http://wwwen.zte.com.cn/endata/magazine/zte technologies/2011/no1/articles/201101/t20110117_201779.html

- [29] Telekom spúšťa 300 Mbit/s dátovú sieť, pracuje na VoLTE aj LTE roamingu. *Mobilmania* [online]. Žilina, 2015 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://mobilmania.azet.sk/clanok/110288/telekom-spusta-300-mbit-s-datovu-siet-pracuje-na-volte-aj-lte-roamingu>
- [30] Communications Network Lab (2.5G, 3G, 4G, IP, TDM). *GL Communications Inc.: Telecommunication Products and Consulting* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.gl.com/telecom-test-solutions/communications-networking-2G-3G-4G-lab.html>
- [31] Test: Čo dokážu mobilné siete za jazdy. *Mobilmania* [online]. Žilina, 2012 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://mobilmania.azet.sk/clanok/88601/test-co-dokazu-mobilne-siete-za-jazdy>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

3GPP	Third Generation Partnership Project
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AMR	Automatizovaný městský radiotelefon
AMTS	Advanced Mobile Telephone System
AON	Active Optical Network
APON	Asynchronous Transfer Mode PON
ARP	Autoradiotelefon
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Centre
BPON	Broadband PON
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver System
CA	Carrier Aggregation
CAT	Category
CDMA	Code Division Multiple Access
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
E-UTRAN	Enhanced-Universal Terrestrial Radio Access Network
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGPRS	Enhanced GPRS
EIR	Equipment Identity Register
EMI	Electromagnetic Interference
EMS	Electromagnetic Susceptibility
eNodeB	Evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPON	Ethernet PON
EPS	Evolved Packet System
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDSL	Fiber Digital Subscriber Line
Flash-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff - OFDM
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb / Cabinet
FTTH	Fiber To The Home
FTTN	Fiber To The Neighborhood / Node
FTTP	Fiber To The Premises
FTTX	Fiber To The X
GGSN	Gateway GPRS Support Node

GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPON	Gigabit PON
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HD Voice	High Definition Voice
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit-Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access plus
HSS	Home Subscriber Server
HSUP	High Speed Uplink Packet Access
HW	Hardware
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMTS	Improved Mobile Telephone System
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE-Advanced
ME	Mobile Equipment
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSISDN	Mobile Subscribed ISDN number
MTS	Mobile Telephone System
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network and Switching Subsystem
ODN	Optical Distribution Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
P-GW	Packet Data Network Gateway
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PON	Passive Optical Network
PSTN	Public Switched Telephone Network

PTT	Push To Talk
QoS	Quality of Service
RNC	Radio Network Controller
RÚ	Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb
S-GW	Serving Gateway
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
ScTP	Screened Twisted Pair
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHDSL	Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line
SIM	Subscriber Identity Module
SISO	Single Input Single Output
SMS	Short Messages
STP	Shielded Twisted Pair
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTP	Unshielded Twisted Pair
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VDSL	Very High-bit-rate Digital Subscriber Line
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP
VoLTE	Voice over LTE
W-CDMA	Wideband CDMA
WAP	Wireless Application Protocol
WDM	Wave-length Division Multiplexing
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMax	World Interoperability For Microwave Access
WWDM	Wide Wavelength Division Multiplexing
WWW	World Wide Web
xDSL	x Digital Subscriber Line

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1. Optický kábel s ochranou [4].</i>	14
<i>Obr. 2. Štruktúra FTTX pripojenia [6].</i>	16
<i>Obr. 3. Architektúra pasívnej optickej siete [8].</i>	18
<i>Obr. 4. Typy káblov krútenej dvojlinky [12].</i>	22
<i>Obr. 5. Konektor RJ-45 [13].</i>	22
<i>Obr. 6. Architektúra xDSL siete [14].</i>	23
<i>Obr. 7. Rýchlosť a dosah xDSL technológie, metalického prístupu [15].</i>	25
<i>Obr. 8. Metódy viacnásobného prístupu [19].</i>	29
<i>Obr. 9. Architektúra siete 2. Generácie [22].</i>	34
<i>Obr. 10. Architektúra siete 3. Generácie [24].</i>	36
<i>Obr. 11. Architektúra siete LTE a 4. Generácie [27].</i>	39
<i>Obr. 12. Dátová priepusť závislá od šírky pásma [28].</i>	40
<i>Obr. 13. Architektúra mobilnej siete operátora [30].</i>	45

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1. Základné štandardy 2G sietí.</i>	29
<i>Tab. 2. Porovnanie prenosových rýchlostí sietí 2G, 3G a 4G</i>	43
<i>Tab. 3. Služby mobilných operátorov v Slovenskej republike.</i>	56
<i>Tab. 4. Pokrytie populácie mobilnou sieťou v Slovenskej republike.</i>	56
<i>Tab. 5. Služby mobilných operátorov v Českej republike.</i>	57
<i>Tab. 6. Pokrytie populácie mobilnou sieťou v Českej republike.</i>	57
<i>Tab. 7. Internet v mobile v Slovenskej republike.</i>	58
<i>Tab. 8. Internet v mobile v Českej republike.</i>	59
<i>Tab. 9. Mobilný internet v Slovenskej republike.</i>	60
<i>Tab. 10. Mobilný internet v Českej republike.</i>	60
<i>Tab. 11. Internet bez drátu v Českej republike.</i>	61
<i>Tab. 12. Pripojenie do optickej siete v Slovenskej a Českej republike.</i>	62
<i>Tab. 13. Pevné pripojenie xDSL v Slovenskej republike.</i>	63
<i>Tab. 14. Pevné pripojenie xDSL v Českej republike.</i>	63

ZOZNAM GRAFOV

<i>Graf 1. Rýchlosť sťahovania dát v mobilnej sieti.</i>	49
<i>Graf 2. Rýchlosť odosielania dát v mobilnej sieti.</i>	50
<i>Graf 3. Doba odozvy dát v mobilnej sieti.</i>	50
<i>Graf 4. Download a Upload v pevnej xDSL sieti.</i>	51
<i>Graf 5. Download a Upload v pevnej optickej sieti.</i>	52
<i>Graf 6. Objem a cena dátových balíkov Interentu v mobile.</i>	59
<i>Graf 7. Objem a cena dát mobilného internetu.</i>	61
<i>Graf 8. Cena a rýchlosť dátového pripojenia v optickej sieti.</i>	62
<i>Graf 9. Cena a rýchlosť dátového pripojenia v metalickej sieti.</i>	64