

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

**MODERNÍ MOBILNÍ TELEKOMUNIKAČNÍ
TECHNOLOGIE**

Tomáš Kalivoda

© 2011 ČZU v Praze

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Kalivoda

obor Informatika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Moderní mobilní telekomunikační technologie**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Historie a principy mobilní komunikace
4. Základy technologie GSM 2G
5. Technologie 3G UMTS a CDMA
6. Nastupující technologie sítě 4G: LTE a další možnosti
7. Potíže při implementaci nových technologií do stávající infrastruktury
8. Aktuální situace a očekávaný vývoj komunikačních technologií v ČR a ve světě
9. Závěr
10. Seznam použitých zdrojů
11. Přílohy

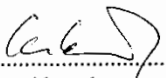
Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:


1. APOSTOLIS K. SALKINTZIS, NIKOS PASSAS: Emerging Wireless Multimedia Services and Technologies. John Wiley & Sons, Ltd, 2005. ISBN 0-470-02149-7
2. FRIEDHELM HILLEBRAND: GSM and UMTS The Creation of Global Mobile Communication. John Wiley & Sons, Ltd, 2002. ISBN 0-470-84322-5
3. HARRI HOLMA, ANTTI TOSKALA: WCDMA for UMTS Radio Access For Third Generation Mobile Communications. John Wiley & Sons, Ltd, 2004. ISBN 0-470-87096-6
4. Doc Ing. STANISLAV HANUS, CSc.: Bezdrátové a mobilní komunikace. VUT Brno, 2002. ISBN 80-214-1833-8
5. GSA, The Global mobile Suppliers Association [online], <http://www.gsacom.com/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry



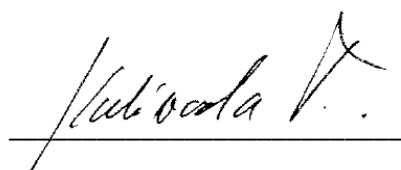

.....
Děkan

V Praze dne: 19. 2. 2010

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Moderní mobilní telekomunikační technologie" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.3.2011

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature appears to be "Kučera V.". The letters are cursive and somewhat stylized.

Poděkování

Rád bych zde poděkoval panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji svým kolegům, kteří mi poskytli potřebné informace.

Moderní mobilní telekomunikační technologie

The Modern Mobile Telecommunication Technologies

Souhrn

Práce se zaměřuje na charakteristiku a porovnání mobilních telekomunikačních systémů. Zkoumá především mobilní telekomunikační sítě počínaje 2. generací. Konkrétně jsou zmiňovány sítě standardu GSM, UMTS, CDMA, LTE, Mobile WiMax. Jednotlivé technologie jsou technologicky a ekonomicky porovnány. Nastíněna je problematika implementací nových technologií do stávajících struktur. Z ekonomického, politického a technologického pohledu jsou odvozeny a charakterizovány omezující podmínky pro budování nových systémů. Na závěr je srovnána zákaznická báze jednotlivých technologií ve světě a v České republice a analyzován budoucí vývoj v oblasti mobilních telekomunikací.

Summary

The mobile telecommunication systems are characterized and compared at this thesis. It concentrates on the second and the following generations of the mobile networks. Analyzed standards are GSM, UMTS, CDMA, LTE and Mobile WiMax. These technologies are economically and technically compared each other. Problems of new technologies implementation into existing network structures are investigated too. Limited conditions are described from economic, political and technological point of view. At the end of the work the customer base of each technology is compared in the Czech Republic and all around the world. The future development of the mobile segment is analyzed.

Klíčová slova: GSM, UMTS, HSPA, LTE, Mobile WiMax, mobilní komunikace, telekomunikační systémy, celulární sítě, architektura mobilních sítí

Keywords: GSM, UMTS, HSPA, LTE, Mobile WiMax, communication, telecommunication systems, cellular network, architecture of mobile networks

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíl práce a metodika	10
3. Historie a principy mobilní komunikace	12
3.1 Mobilních telekomunikační sítě do období nástupu GSM.....	12
3.1.1 NMT (Nordic Mobile Telephone)	13
3.2 Základní principy přenosu užívané v mobilní komunikaci.....	14
3.2.1 Celulární sítě.....	14
3.2.2 Frekvenční plánování	15
3.2.3 Metody mnohonásobného přístupu	16
3.3 Přenosové cesty	17
3.3.1 Bezdrátové přenosové cesty	17
3.3.2 Optické přenosové cesty	18
4. Základy technologie GSM 2G.....	19
4.1 Historie GSM	19
4.2 Charakteristika sítě.....	22
4.2.2 Architektura sítě	23
4.3 Služby sítě	28
4.3.1 Hlasové služby.....	29
4.3.2 Datové služby	31
4.3.3 Textové a ostatní služby	35
4.4 Současnost a rozvoj GSM	36
5. Technologie 3G UMTS a CDMA	38
5.1 Historie 3G sítí	38
5.2 Charakteristika sítě.....	41
5.2.1 Architektura sítě	41
5.3 Služby sítě 3. generace.....	44
5.3.1 HSPA - HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) a HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access).....	45
5.3.2 HSPA+ (Evolved HSPA)	45
5.3.3 Hlasové, textové a další služby	46
5.2 Srovnání s GSM	46

5.3	Současnost a rozvoj.....	47
6.	Nastupující technologie sítí 4G: LTE a další možnosti.....	48
6.1	Přehled přicházejících technologií	48
6.1.1	LTE – Long Term Evolution.....	49
6.1.2	Mobile WiMax	50
6.1.3	Srovnání technologií.....	50
6.2	Budoucnost sítí 4. generace.....	51
7.	Potíže při implementaci nových technologií do stávající infrastruktury	52
7.1	Technologická omezení	52
7.2	Ekonomické aspekty	54
7.3	Konkurenční prostředí.....	56
7.4	Zákonné požadavky, politický vliv a jiná omezení.....	57
8.	Aktuální situace a očekávaný vývoj komunikačních technologií v ČR a ve světě	59
8.1	Integrace a konvergence telekomunikačních služeb	59
8.2	Statistiky užívání mobilních komunikací.....	60
8.3	Analýzy vývoje trhu.....	62
8.4	Situace v České republice	63
9.	Závěr.....	65
10.	Seznam použitých zdrojů.....	67
	Seznam obrázků.....	69
	Seznam tabulek	69
	Seznam grafů	69
	Příloha 1: Procedura sestavení hovoru účastníka mobilní sítě a pevné sítě PSTN.....	70

1. Úvod

Již od pradávna lidé toužili po vzájemné komunikaci na dálku. Státy ji potřebovaly pro svá strategická vojenská a ekonomická rozhodnutí a lidé pro každodenní komunikaci se svými blízkými. Pojem telekomunikace, vyjadřující komunikaci na dálku, je odvozen od řeckého výrazu tele ve významu vzdálený. V minulosti existovalo mnoho způsobů pro vzdálené sdílení informací. Prvním oborem byla telegrafie umožňující zasílání zpráv, kdy americký malíř Samuel Morse v roce 1844 zaslal informaci na vzdálenost 50 km. Komunikace byla pouze dvoustavová, šifrovaná Morseovou abecedou a vedená po drátech. Rychlost přenosu se pohybovala v řádu stovek slov za hodinu. Přes své nedostatky se telegrafické přenosy využívaly téměř sto let. Po objevení rádiových vln je komunikace převedena do bezdrátové podoby a tím začíná éra komunikace na dálku a vývoje mobilních telekomunikačních sítí.

Dnešní mobilní telekomunikace již nemá příliš společného s tou původní. Vychází však stále z principu Hertzových rádiových vln. Na velké vzdálenosti však jsou přenášeny zakódované digitální signály obsahující hlas, užitečná data a další služby důležité pro vzdálenou komunikaci lidí a strojů. Požadavky, jež jsou kladeny na dnešní nové technologie, se týkají především vysokých přenosových rychlostí, kvality spojení, případně nízké odezvy systémů.

Vývoj v oblasti mobilních sítí je velmi dynamický a každý rok jsou ohlašovány nové technologie, které optimalizují stávající principy a umožňují dosáhnout kvalitnějších parametrů. Hlasové služby stále tvoří většinu tržeb poskytovatelů, nicméně jejich význam neustále klesá. Jedním z důvodů je fakt, že ve vývoji hlasových služeb není čeho dosáhnout. Lidé jsou spokojeni se stávající kvalitou, a proto jediné co je možné očekávat, bude výrazné zvýšení kvality přenášeného hlasu v budoucích letech. Hlavní důraz ve vývoji je kladen na oblast datových služeb. Rychlosti, které dnešní systémy dosahují, byly ještě v nedávné době nepředstavitelné. I přesto jsou pro mnoho aplikací a funkcí nedostačující. V brzké době je reálné, že se dočkáme rychlostí přenosů, které budou dosahovat řádově gigabity za sekundu. Ty nám umožní zcela nové možnosti.

Tato práce bude charakterizovat principy stávajících digitálních mobilních sítí a zaměří se na aktuální stav vývoje a implementací nových generací systémů.

2. Cíl práce a metodika

Hlavním cílem bakalářské práce je srovnání současných a přicházejících technologií mobilních telekomunikačních sítí a nastínění omezujících podmínek při implementaci nových prvků do stávající infrastruktury telekomunikačních operátorů.

Díličními cíli jsou:

- vysvětlit základní principy mobilní komunikace a seznámit se s některými telekomunikační pojmy
- podrobněji porovnat a klasifikovat jednotlivé technologie mobilní telekomunikace a to jak z hlediska technologického, tak ekonomického
- vyhodnotit stávající situaci na lokálním trhu a vymežit rozdíly oproti jiným zemím
- zaměřit se na dílčí potíže při implementacích (efektivnost daných technologií vzhledem k velikosti trhu, technologická a finanční omezení, restriktivní omezení ze strany státu a EU, atp.)
- nastínit předpokládaný směr vývoje v oblasti mobilní komunikace

Bakalářská práce je členěna do několika kapitol, v rámci nichž je používáno dělení do subkapitol dle zaměření. První kapitola se zabývá vymezením základních telekomunikačních pojmů a objasněním důležitých principů mobilní bezdrátové komunikace. Je zde shrnut vývoj mobilní telekomunikace až do vzniku GSM a také jsou zde zmíněny zásadní technologické objevy, které umožňují komunikaci takovým způsobem, jakým ji známe dnes. Následující kapitoly se věnují charakteristice a srovnání konkrétních technologií. Vysvětleny jsou principy a rozdíly, které jsou v komunikaci uplatňovány a průběžně jsou jednotlivé technologie ekonomicky a technologicky srovnávány. Tyto kapitoly se podrobněji věnují zejména majoritním technologiím, konkrétně sítím GSM, UMTS a CDMA. Jedna z kapitol bude věnována právě přicházejícím, případně vznikajícím technologiím jako například LTE, případně Mobile WiMax. Sekce, která řeší omezující podmínky při implementacích nových technologií, se bude zabírat technologickými aspekty implementace, kterými jsou například kapacita sítí, omezené frekvenční rozsahy apod. Tyto záležitosti jsou úzce konfrontovány s finanční efektivností. Budou zde také zmíněny zákonné podmínky pro výstavbu nových sítí, stejně jako majetkoprávní vztahy v rámci stavby samotných vysílačů, které komplikují rychlost a

efektivnost implementace. V souvislosti s omezeními bude zmíněn tlak konkurence, existence přírodních, fyzikálních bariér, vliv politického prostředí, případně také vliv působení nadnárodních společností jako telekomunikačních operátorů.

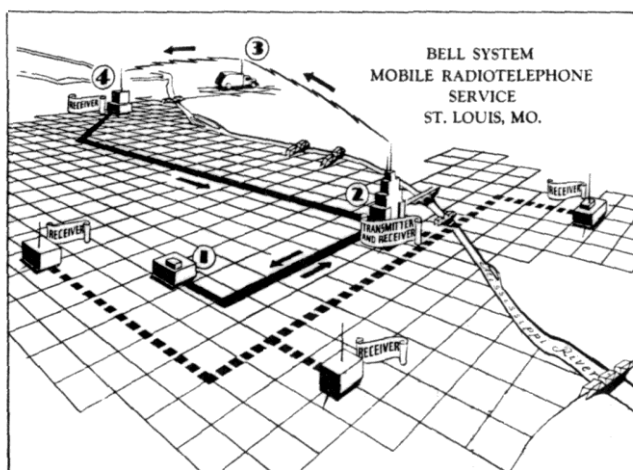
V poslední kapitole je nastíněna aktuální situace na českém telekomunikačním trhu a předpokládaný směr vývoje. Situace je konfrontována se stavem ve světě. Uvedena je predikce vývoje v nejbližších letech a shrnuty možné směry vývoje telekomunikací v delším časovém horizontu.

3. Historie a principy mobilní komunikace

Počátky mobilní komunikace jsou datovány do 2. poloviny 19. století, kdy anglický vynálezce David Edward Hudhes dokázal přenést signály pomocí rádiových sítí. Jeho práce však nebyla dostatečně oceněna a jeho závěrům nebylo důvěřováno. Za prvního, kdo dokázal možnost přenosu pomocí rádiových vln dostatečně zdůvodnit, je považován německý fyzik Heinrich Rudolf Hertz (nar. 1857). V roce 1897 si italský vědec Guglielmo Marconi patentoval první rádiový systém a tím vznikl předpoklad pro budování rádiových sítí.

3.1 Mobilních telekomunikační sítě do období nástupu GSM

Dle (1) byla dne 17. června 1946 spouštěna uskupením amerických společností AT&T a Southwestern Bell první komerční rádiovou sítí. Tato síť používá 6 kanálů v



OBRAZEK 3.1 ARCHITEKTURA MOBILNÍ SÍTĚ SOUTHWESTERN BELL
ZDROJ: (1)

pásmu 150 MHz s šířkou pásma 60 kHz. Radiotelefony se umísťují do automobilů a jsou připojeny vždy k nejbližšímu vysílači. Z vysílače je signál přenášen do ústředny, kde přepojovatelka zajistí přepojení na cílovou stanici. Znárodnění systému je na obrázku 3.1. Síť byla náchylná velmi často vůči frekvenčním rušením, pro použitelnost byl proto počet kanálů snížen na tři. Právě z důvodu častých interferencí již v roce 1947 byla diskutována varianta

celulárních sítí, která umožní lépe využít frekvenční pásmo a zabránit interferencím. Principy těchto sítí budou charakterizovány v následující podkapitole. V roce 1948 byla zprovozněna první automatická rádiová síť společnosti Richmond Radiotelephone Company. Hlavní hráči na trhu však využívaly manuálního přepojování až do 60. let 20. století. První systémy v Evropě byly spuštěny v Německu v roce 1949 a Švédsku v roce 1951. V 80. letech 20. století přichází období nástupu celulárních sítí. První spuštěnou celulární sítí byla v roce 1978 bahrajnská síť Batelco. V USA byla první taková síť

spuštěna do komerčního provozu v roce 1983 pod označením AMPS. Ta byla provozována na frekvenci 800 MHz. V Evropě je v krátkém sledu spouštěno několik typů celulárních sítí. Největší zastoupení mají sítě NMT, existují však další sítě jako například britská TACS, německá C-Netz, italská RMTS, či francouzská Radiocom 2000. Všechny tyto celulární sítě jsou řazeny mezi sítě 1. generace a fungují na analogovém principu. Vzhledem k tomu, že síť NMT byla spuštěna v roce 1991 také v Československu, bude tato síť podrobněji vysvětlena.

3.1.1 NMT (Nordic Mobile Telephone)

V roce 1981 byl spuštěn do provozu analogový celulární mobilní systém NMT. Ten vyvíjelo uskupení severovýchodních států v 70. letech 20. století. V počátcích existuje varianta NMT 450 běžící ve frekvenčním pásmu okolo 450 MHz, později v roce 1986 byla implementována podpora v pásmu 900 MHz. Jednalo se o otevřený standard a tak se těšil i velké oblibě u výrobců mobilních terminálů. Ty se v pozdějších fázích dostaly, co se týče velikosti a hmotnosti, na úroveň dnešních terminálů. V roce 1991 byl spuštěn systém NMT 450 v tehdejším Československu společností Eurotel. V dobách největšího rozmachu měl až 70 000 zákazníků a 500 základnových stanic. V České republice byl provoz NMT ukončen v roce 2006.

Architektura sítě

Systém NMT se skládá ze systému základnových stanic BSS, přepínacího systému NSS a samotné mobilní stanice MS. Ústřednová část obsahuje samotnou ústřednu MTX (*Mobile Telephone Exchange*), ve které je integrován domovský registr HLR, může být umístěn také v odděleném racku. NSS část také umožňuje spojení do fixní sítě PSTN. Základnové stanice systému mají dosah až 60 km u NMT450 a jsou připojeny k jedné z ústředen. Stanice jsou sdruženy do celků, které nazýváme TA (*Traffic Area*). V jedné TA může být umístěno až 256 základnových stanic. Podobný systém je využíván také v GSM a slouží pro rychlejší sestavení spojení a přihlášení do sítě.

Služby

Standard NMT je vytvořen hlavně pro účely hlasových služeb. Ty nabízí obstojnou kvalitu, nicméně ta se nepřibližuje kvalitám fixní sítě. Existuje podpora hlasové záznamové služby (VMS). Komunikace z počátku nepodporuje šifrování. Později byla tato

možnost dodána, stejně jako podpora roamingu a předplacených služeb. Po datových službách neexistuje v této době přílišná poptávka, i přesto standard podporuje technologii DMS (*Data and Messaging Service*), která umožní přenášet data po signalizační lince. V sítích se však příliš nevyužívala. Odlišnou variantou je služba NMT Mobidigi, která při použití speciálního vybavení umožňuje přenos dat rychlostí 380 bitů za sekundu.

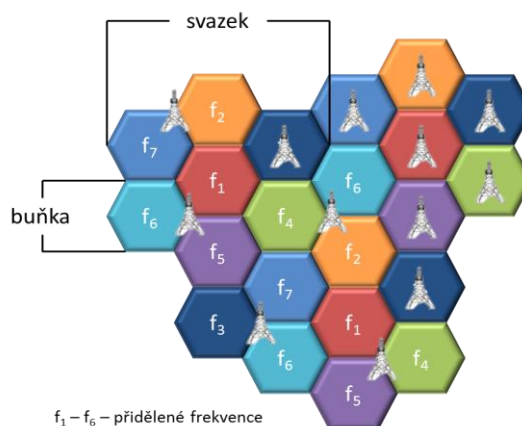
3.2 Základní principy přenosu užívané v mobilní komunikaci

Radiokomunikační systémy využívají k přenosu informace volné prostředí (volný prostor), ve kterém je informace přenášena od vysílače k přijímači prostřednictvím rádiových vln. Rádiovými vlnami nazýváme elektromagnetické vlnění v kmitočtovém pásmu 10 kHz až 3000 GHz, což odpovídá vlnovým délkám v rozsahu 30 km až 0,1 mm. (2) Pro systémy telekomunikačních sítí jsou využívány pásma ultra krátkých vln UHF (300 – 3000 MHz). Ultra krátké vlny jsou ideální, díky svým vysokým frekvencím a neodrážení signálů od ionosféry, pro šíření do krátkých vzdáleností. Jejich výhodou je také odolnost vůči atmosférickým rušením. Společně s telekomunikačními bezdrátovými systémy jsou pásma UHF sdílena s televizním vysíláním, leteckými a námořními systémy. Přidělování frekvenčních spektra probíhá ve světě pomocí organizací, jež jsou členy ITU (*International Telecommunication Union*), ty mají za úkol efektivně spravovat a rozdělovat frekvenčních pásma. V České republice plní tuto úlohu Český telekomunikační úřad (ČTÚ).

3.2.1 Celulární síť

Z důvodu omezených počtů frekvencí pracují rádiové sítě na principu celulárního, jinak též buňkového systému. Území je rozděleno na spousty takovýchto buněk. V reálném prostředí se tyto buňky překrývají, pro modelování jsou prezentovány jako pravidelné šestiúhelníky. Struktura celulární sítě je zobrazena na obrázku 3.2, kde má každá buňka přidělenou svou frekvenci. Důležité je, aby sousedící buňka, z důvodu možných interferencí, neměla tyto frekvence stejné. Základnové stanice však mají pouze omezený dosah signálu. Tím je umožněno, aby frekvence, které jsme použily v původní buňce, mohly být v síti znovu využity a to v jiném svazku. Tímto nám vrůstají kapacitní možnosti sítě a je splněna podmínka pro vytvoření sítě s efektivním využíváním frekvenčního pásma. Jak je dále z obrázku vidět, základnová stanice je umístěna buďto v buňce, případně na pomezí buněk. Více využívaná je druhá varianta, které říkáme sektorizace. Jedná se o jednu základnovou stanici, která má tři směrové antény a rádia, z nichž každé

vysílá na jiné frekvenci. Vysílání sektorové antény tedy tvoří buňku rádiového systému. Celulární sítě jsou všechny běžně komerční rádiové sítě od systémů 1. generace. Z počátku ještě nejsou využívány principy sektorizace, ale již v průběhu pozdějších implementací NMT se začínají využívat. Tímto způsobem totiž docílíme významného snížení finanční náročnosti výstavby. Pohyb uživatele v rámci pokrytého území a předávání hovoru z jedné buňky do další probíhá procesem zvaným handover. Terminál pravidelně vyhodnocuje sílu a kvalitu signálu okolních vysílačů a v případě očekávané vyšší kvality na jiném vysílači, provede převedení uživatele právě na něj.



**OBRÁZEK 3.2 BUŇKOVÝ SYSTÉM
ZPRACOVÁNO DLE STANDARDŮ GSM**

3.2.2 Frekvenční plánování

Omezením interferencí a přidělováním frekvencí jednotlivým základnovým stanicím se zabývá v praxi oblast frekvenčního plánování. Jsou vytvářeny frekvenční plány, sledovány aktuální statistiky sítě a prováděno reálné měření tak, aby k interferenčním stavům nedocházelo. Dříve nad tímto plánováním probíhalo spousty práce, od implementace 2. generací rádiových sítí jsou využívány metody, které přidělování frekvencí usnadňují. Jednou z nich je frekvenčního skákání, častěji též frequency hopping. Metoda zajišťuje, že část informací je vysílána na jednom kanále a následně se skokově změní nosný kmitočet. Další část informace je tedy zasílána již na jiném kanále. K této situaci dochází, při metodě SFH¹, přibližně 217 krát za sekundu.

Omezíme tak možnosti:

- *Frekvenční diverzity*, což je ztráta rádiového spojení v oblastech s rychlým Reyleighovým únikem²,

¹ SFH – slow frequency hopping – metoda využívaná v oblasti GSM systémů

² Reyleighův únik – tzv. rychlý únik způsobený mnohocestným šířením signálu a pohybem mobilní stanice (2)

- *Interferenční diverzity*, která způsobuje degradaci signálu při použití stejných frekvencí.

3.2.3 Metody mnohonásobného přístupu

Pro efektivní využívání frekvenčního pásma by nám pouhý princip celulárních sítí nestačil. Dalšími využívanými postupy jsou metody mnohonásobného přístupu. V dnešních sítích je využíváno několik různých přístupů a jejich kombinací.

Mnohonásobný přístup s frekvenčním dělením FDMA (Frequency Division Multiple Access)

FDMA je nejjednodušší z metod mnohonásobného přístupu. Je využívána již od vzniku rádiových systémů. U FDMA dochází k rozdělení přiděleného frekvenčního spektra do jednotlivých kanálů charakterizovaných střední hodnotou frekvence a maximálním pásmem modulace. Potřebná šířka pásma pro hlasový hovor je mezi 10 až 30 kHz. Spektrum je možné rozdělit na mnoho kanálů a docílit navýšení kapacity sítě.

Mnohonásobný přístup s časovým dělením TDMA (Time Division Multiple Access)

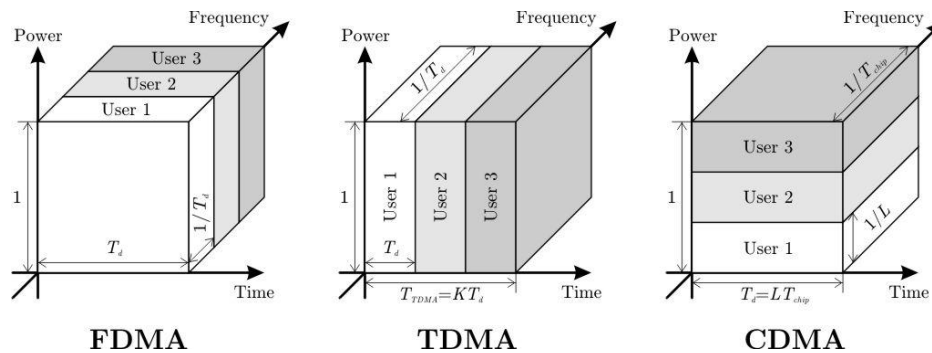
Nevýhodou přístupu FDMA je, že každému uživateli je po dobu hovoru přidělena celá šířka kanálu. Pro efektivnější využití spektra a další navýšení kapacity je v rádiových sítích implementována technologie TDMA, která daný kanál rozděluje na časové rámce zvané timesloty. V každém hodinovém cyklu je přidělena uživateli osmina kanálu vždy ve stejném okamžiku. Tento systém vyžaduje zajištění časové synchronizace.

Mnohonásobný přístup s kódovým dělením CDMA (Code Division Multiple Access)

U přístupu pomocí CDMA uživatelé komunikují na stejné frekvenci a ve stejném čase. Síť dokáže rozpoznat uživatele na základě pseudonáhodného kódu, který je každému účastníkovi přidělen.

Uvedené systémy jsou v dnešních systémech kombinovány. V rodině systémů GSM je využívána kombinace FDMA a TDMA. U technologie CDMA 2000 je mnohonásobný přístup realizován kombinací metod FDMA a CDMA. UMTS sítě využívají metody WCDMA.

Informace k metodám mnohonásobného přístupu čerpány ze zdrojů (2), (3).



OBRÁZEK 3.3 METODY VÍCENÁSOBNÉHO PŘÍSTUPU
ZDROJ: (17)

3.3 Přenosové cesty

Propojení prvků sítě směrem k jim nadřazeným elementům je realizováno za pomoci přenosových cest. Principy jakýchkoli telekomunikačních systémů jsou založeny na přenosových cestách, jež mohou být provedeny několika způsoby. Metalické propojení se v dnešních moderních mobilních sítích nevyužívá a právě z tohoto důvodu se text tímto typem nebude dále zabírat. Podrobněji budou rozebrány systémy, jež mají dominantní úlohu v celulárních sítích. Mezi ně patří řešení pomocí optických kabelů a bezdrátové.

3.3.1 Bezdrátové přenosové cesty

Bezdrátové rádiové přenosy jsou nedílnou součástí mobilních sítí. Už z principu je vytvořena rádiová cesta mezi mobilním terminálem a základnovou stanicí pomocí všesměrových antén, které signál šíří do svého okolí. Bezdrátová komunikace je využívána také k přenosu signálu mezi uzly telekomunikační sítě. Tato bezdrátová spojení jsou realizována pomocí mikrovlnných linek.

Mikrovlnný spoj využívá principu, kdy je energie rádiových vln soustředěna do úzkého svazku, který je dále směřován k cílovému místu. Spoje jsou realizovány na vysokých frekvencích v řádu GHz.

Nevýhody bezdrátového přenosu jsou:

- prakticky nulová odolnost proti terénním nerovnostem. Obě strany spoje musí být ve viditelné vzdálenosti a nesmí mezi nimi být jakákoli překážka.
- náchylnost vůči atmosférickým vlivům

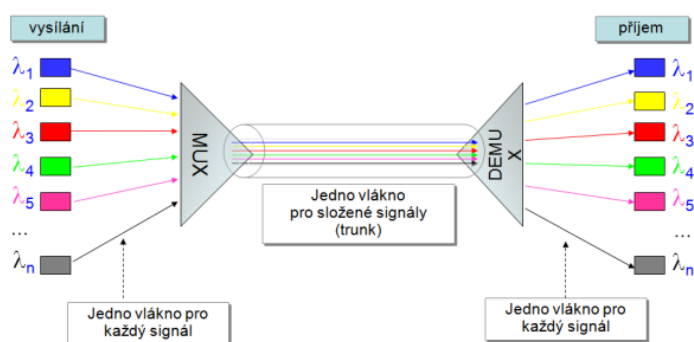
- vyšší riziko vzniku interferencí
- nižší přenosové rychlosti a kapacity oproti optickým sítím

Naopak výhodou je zejména možnost vybudovat vysokokapacitní spoj v místech, kde by nebylo možné vykopat alternativní vedení a také cena spoje.

3.3.2 Optické přenosové cesty

Alternativou pro meziuzlové přenosy je využití optické sítě. Tyto sítě disponují řádově vyšší kapacitou a umožňují přenosy vysokými rychlostmi. Jejich budování je však nákladné a tak se řada poskytovatelů uchyluje k pronájmu vláken v rámci existujících optických kabelů. V rámci mobilních systémů jsou využívány zejména pro přenosy v rámci páteřní sítě – tedy pro meziústřednovou komunikaci.

Pro navýšení kapacit v páteřních sítích je využívána technologie *DWDM* (*Dense Wave Division Multiplexing*), který umožňuje dosahovat rychlosti v řádech terabitů za sekundu díky metodám vlnových multiplexů. „Technologie *DWDM* a *CWDM* umožňují vytvořit uvnitř vlákna více přenosových kanálů s různými vlnovými délkami. Vlnové délky těchto kanálů (*lambda*) definují doporučení *ITU-T G.694.1* a *G.694.2*. Obě technologie jsou v základním principu obdobné. *CWDM* využívá méně kanálů, kanály jsou od sebe vzdálenější (2500 GHz v *CWDM* oproti typickým 50-200 GHz v *DWDM*). *CWDM* systémy jsou levnější a ve srovnání s *DWDM* se hodí pro přenosy o nižších kapacitách na kratší vzdálenosti.“ (4)



OBRÁZEK 3.4 PRINCIP DWDM
ZDROJ: (4)

4. Základy technologie GSM 2G

Dalším vývojovým stádiem mobilních sítí jsou sítě GSM – *Global System for Mobile communication*. Zásadním rozdílem oproti předchozím technologiím je využití digitálního přenosu. Tyto sítě 2. generace jsou do dnešních dní nejrozšířenější technologií pro mobilní služby a právě GSM zapříčinila počátek masivního využívání mobilních telekomunikací pro běžné uživatele. V druhé polovině roku 2010 využívalo služby GSM sítě více než 4 miliardy uživatelů a v komerčním provozu bylo 543 GSM sítí ve 196 zemích světa. (5)

4.1 Historie GSM

V roce 1982 bylo organizaci CEPT³ rozhodnuto o alokaci frekvenčního spektra okolo 900 MHz pro panevropský systém mobilní komunikace. Vývojem tohoto systému byla pověřena skupina „Groupe Spécial Mobile“ (GSM). Ta měla za úkol vytvořit standard pro celoevropskou mobilní telekomunikační síť. Již na počátku byly definovány požadavky, jež má tato síť splnit. Mezi ty základní patřily:

- provozuschopnost ve frekvenčních pásmech 890 – 915 MHz a 935 – 960 MHz
- garance dostupnosti již existujících služeb v přiděleném pásmu
- mobilní terminály musí být schopny komunikovat ve všech participujících zemích
- systém je schopný nabídnout jiné služby než hlasové, musí být připraven pro implementaci nových funkcionalit
- zabezpečení komunikace
- nesmí zapříčinit významné změny v oblasti fixních telekomunikačních sítí
- umožní využití stávajících mechanismů účtování
- číslovací plán je kompatibilní s tím využívaným
- nabídka příručních koncových zařízení
- vysoká kvalita zvuku srovnatelná s fixní komunikací

V únoru 1987 bylo na 13. setkání skupiny rozhodnuto o základních parametrech GSM. Ty vycházely z výše uvedených požadavků. Odpovědnost za standardizaci byla

³ CEPT – The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

přesunuta na ETSI⁴. O dva roky později došlo k podepsání prvních kontraktů na dodávku GSM systémů, tak aby v roce 1992 byla komerčně spuštěna první GSM síť finského operátora Radiolinja. O rok později byla podepsána první roamingová smlouva právě mezi finským operátorem a britským poskytovatelem Vodafone UK. Vzhledem k úspěchům se síť standardu GSM rychle rozšiřují po celém světě, kdy v roce 1997 jsou dostupné u 200 poskytovatelů ve 100 zemích světa pro 70 miliónů obyvatel. Vývoj systému v následujících letech pokračoval a postupně byly implementovány nové vlastnosti, které jen utvrzovaly vedoucí úlohu GSM mezi telekomunikačními systémy. Vývoj byl rozdělen do několika fází, ve kterých byly implementovány postupně všechny funkce.

Fáze 1 (1992)

- základní hlasové služby
- předávání hovorů
- zamezení odchozích a příchozích hovorů
- standard SIM a šifrování
- mezinárodní roaming

Fáze 2 (1994)

- identifikace volaného a volajícího
- datové a faxové služby
- služba SMS
- konferenční hovory
- uzavřené skupiny uživatelů
- přidržení hovoru
- další specifikace

Fáze 2 + (1998)

- privátní číslovací plány – podpora VPN
- 3-voltová SIM
- vícenásobné číslo – podpora UPT

⁴ ETSI - The European Telecommunications Standards Institute

- paketové služby - GPRS
- více profilů služeb
- propojitelnost mezi standardy GSM – mezipásmová kooperace
- nové kodeky pro zvýšení kvality hlasu
- podpora aplikací SIM Toolkit
- rozšíření možností SMS – práce nad kompletní sadou znaků
- další specifikace

I přesto, že jsou sítě GSM stále nejrozšířenější, dochází se vzrůstající dostupností sítí vyšších generací k pozvolnému ústupu. Důležité milníky GSM, týkající se implementace nových funkcí jsou shrnuty v následujícím přehledu:

- 1993 první síť v pásmu DCS 1800 MHz
- 1995 datové, faxové a SMS služby
první síť v pásmu PCS 1900 MHz
- 1996 implementace předplacených služeb
- 2000 první GPRS implementace na světě
- 2002 spuštění MMS služeb
- 2003 spuštění MMS služeb

Více podrobností k historii GSM a specifikacím je dostupných v (6).

V České republice je standard GSM v oblasti mobilních telekomunikací také nejvíce zastoupen. Služby nabízí 3 poskytovatelé s pokrytím území celé České republiky a jsou zde implementovány téměř všechny vlastnosti GSM včetně posledních specifikací. Počátky poskytování u nás jsou datovány do poloviny 90. let a vývoj je shrnut v tabulce.

- červenec 1996 první komerčně spuštěná GSM síť v ČR - Eurotel
- září 1996 spuštění sítě Pegas společnosti Radiomobil
- 1997 zprovoznění SMS centra Pegas
- listopad 1997 spuštění předplacených služeb Pegas Twist a Eurotel Go
- leden 1999 možnost posílat SMS z předplacených služeb Pegas Twist

únor 1999	možnost posílat SMS z předplacených služeb Eurotel Go
prosinec 1999	Eurotel spouští službu WAP
březen 2000	spuštění sítě společnosti Český Mobil pod názvem Oskar
duben 2000	zprovoznění předplacených služeb Oskar Oskarta
říjen 2000	spuštění GPRS v síti Eurotel
srpen 2001	spuštění GPRS v síti Pegas
červen 2002	ze sítě Pegas se stává T-Mobile
srpen 2002	spuštění MMS u Eurotel a T-Mobile
září 2003	MMS služby implementuje Oskar
listopad 2004	EDGE v síti T-Mobile
březen 2005	Oskar a Eurotel spouští EDGE
březen 2005	ze sítě Oskar se stává Vodafone
duben 2005	ze sítě Eurotel se stává O2

4.2 Charakteristika sítě

Systémy standardu GSM jsou sítě celulární s využitím FDMA a TDMA metod mnohonásobného přístupu. Jsou schopny operovat ve frekvenčních pásmech 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz. V České republice jsou využívány pásma GSM900 a DCS1800 a speciální implementace GSM-R, která má rozšířené schopnosti pro oblast provozu na železnici. Na rozdíl od předchozích generací je tato síť již plně digitální. Převod mezi analogovým a digitálním signálem probíhá na úrovni mobilní stanice pomocí A/D a D/A převodník.

TABULKA 4.1 CHARAKTERISTIKY SÍTÍ GSM

	GSM 900	DCS 1800
Šířka pásma	2 x 25 MHz	2 x 75 MHz
Odstup od nosných vln	45 MHz	95 MHz
Počet kanálů	124	375
Modulace	GMSK	

Pro systémy standardu GSM jsou počty přidělených kanálů rozděleny následovně. (7)

TABULKA 4.2 PŘIDĚLENÁ FREKVENČNÍ PÁSMA GSM
ZDROJ DAT: (7)

Poskytovatel	GSM-R	E-GSM	P-GSM	DCS
	955 – 974 MHz	975 – 1023 MHz	890 – 960 MHz	1710 – 1880 MHz
T-Mobile Czech Republic	0	15	47	90
Telefónica O2 Czech Republic	0	16	46	70
Vodafone Czech Republic	0	19	31	90
České Dráhy a.s.	19	0	0	0
Nepřiděleno	1	0	0	124
Celkem	20	50	124	374

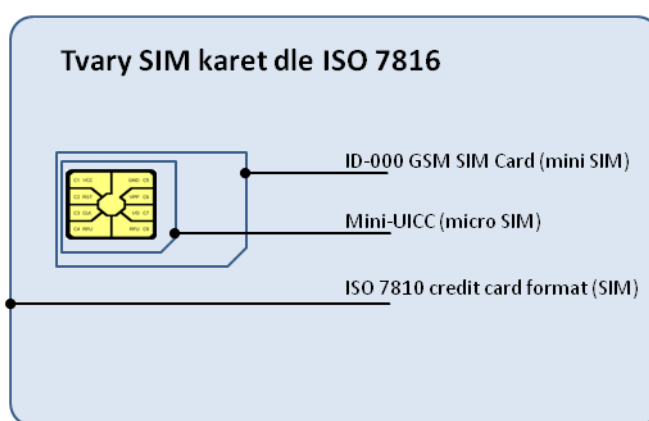
4.2.2 Architektura sítě

Systém GSM je navržen tak, aby nebyl autonomní a uzavřený, ale aby umožňoval přístup i do jiných sítí. (2) Architekturu tvoří celkem čtyři části. Směrem od uživatele jimi jsou: samotná mobilní stanice (MS), subsystém základnových stanic (BSS), subsystém síťový a spojovací (NSS) a subsystém řízení a údržby (OSS). Pro ilustraci je architektura zakreslena na obrázku 4.2. Jednotlivé části a interfaci mezi nimi budou charakterizovány v následujícím textu a bylo čerpáno ze zdrojů (2), (3), (8), (9).

4.2.2.1 Mobilní stanice – MS (Mobile Station)

Jedná se o koncový terminál, který trvale udržuje spojení se subsystémem základnových stanic pomocí U_m interfacu, někdy též označovaným jako Air Interface. Důležitou součástí mobilní stanice je *SIM karta (Subscriber Identity Modul)*, jejímž hlavním účelem je identifikace účastníka v síti. Ta není součástí samotného terminálu, ale je do něj dodávána jako modul. Velikosti SIM karet dle normy ISO 7816, s nimiž se můžeme setkat, jsou vyobrazeny na obrázku 4.1. Fyzicky SIM karta obsahuje čip řízený 8-bitovým mikroprocesorem, paměti RAM a ROM a také paměť uživatelskou typu EPROM, případně EEPROM. V pamětech SIM karty se nachází následující vybrané údaje:

- Číslo IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) – jedná se o 15ti místné mezinárodní účastnické číslo jednoznačně identifikující účastníka v síti
- Kód PUK (*Personal Unblocking Key*) – slouží k odblokování SIM karty v případě zapomenutí PIN, toto číslo zná také poskytovatel služeb
- Kód PIN (*Personal Identification Number*) sloužící k osobní ochraně SIM karty. Tento kód si můžeme sami měnit.
- Klíče a algoritmy pro zabezpečení komunikace
- SIM Toolkit aplikace
- Dočasná data - například telefonní seznam, SMS



OBRÁZEK 4.1 TVARY SIM KARET DLE NORMY ISO 7816

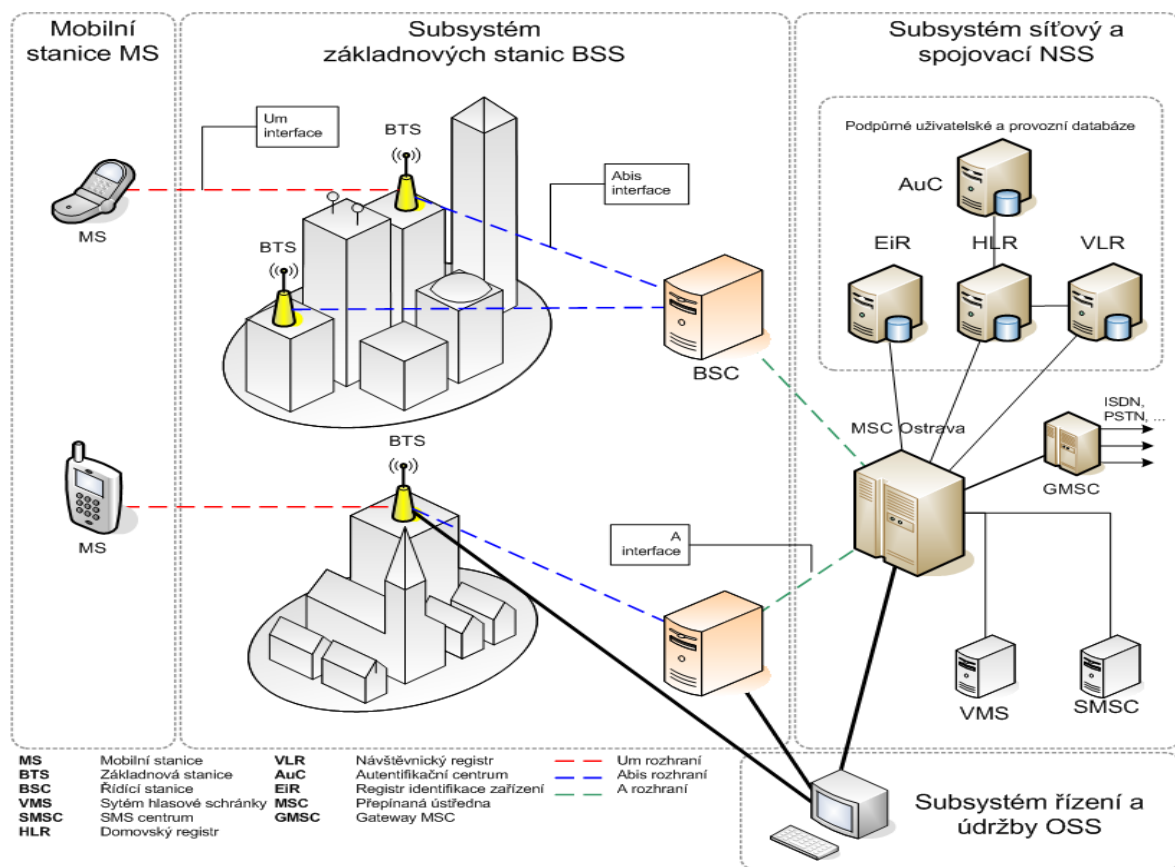
4.2.2.2 Subsystem základnových stanic – BSS (*Base Station Sub-System*)

Jedná se o subsystem zajišťující komunikaci s terminálem (MS) a na druhé straně se síťovým a spojovacím subsystemem (NSS). Komunikaci mezi terminálem a BSS zajišťuje, jak již bylo řečeno, U_m interface. Komunikaci mezi BSS a NSS Abis interface.

Subsystem BSS tvoří následující prvky:

Základnové stanice BTS (Base Transceiver Station), které pomocí svého pokrytí zajišťují dostupnost GSM služeb. V České republice každý poskytovatel figuruje přibližně 4 500 těchto síťových prvků, kde každá BTS obsahuje průměrně tři sektory. Jak je známo z teorie celulárních sítí a principu sektorizace, znamená to přibližně 13 500 buněk. Ty se vzájemně překrývají a tvoří tak souvislé pokrytí území.

V České republice překračuje GSM pokrytí obývaného území u všech poskytovatelů hodnotu 99%. Pro efektivnější zajištění pokrytí v závislosti na hustotě osídlení a provozu existuje několik typů BTS dle dosahu jejich buněk. BTS s *makrobuněkami* jsou využívány pro pokrytí rozsáhlých území. Jsou vhodné jako základní stavební kámen sítě. Umístěny jsou většinou na vyvýšených místech a jejich teoretický dosah je až 35 km, v praxi do 10 km. Pro kapacitní pokrývání hustě osídlených aglomerací je využíváno pokrytí pomocí *mikrobuněk*. Ty poznáme podle menších antén, umístěných na úrovni okolní zástavby. Jejich dosah je výrazně kratší – maximálně 2 km. Princip je jednoduchý, čím menší dosah je, tím častěji můžeme na menším území opakovat frekvence. Tím nám vzrůstá celková kapacita sítě. Posledním běžným typem základnových stanic jsou BTS s *pikobuněkami*, jejichž význam je v pokrytí uzavřených prostor. Dosah se většinou pohybuje v desítkách metrů.

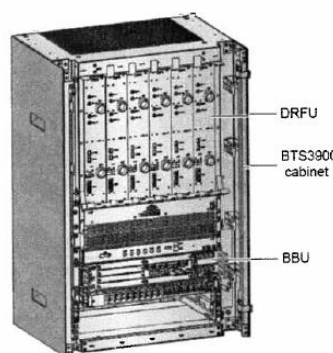


OBRÁZEK 4.2 ARCHITEKTURA GSM
ZPRACOVÁNO DLE STANDARDŮ GSM A 3GPP

Fyzicky se základnová stanice BTS skládá z několika částí: technologie GSM, anténního systému, napájecího systému a přenosové soustavy. Nejdůležitější součástí technologie jsou TRX. Jedná se o rádio, které vysílá, přijímá a zpracovává signál. Dnes je technicky možné mít na jedné BTS až 72 TRX, tedy 72 různých frekvencí (u technologie Huawei BTS3900). V reálném provozu je využíváno okolo 9 TRX.



OBRÁZEK 4.3 NANO BTS
ZDROJ: (16)



OBRÁZEK 4.4 KABINET HUAWEI BTS3900
ZDROJ: (18)

Zvláštním typem základnové stanice je tzv. *Nano BTS* využívající pro svůj chod xDSL připojení. Na rozdíl od běžných BTS je její provoz řízen centrálně pomocí Nano BSC. Tento typ je využíván pro pokrývání vnitřních prostor, podobně jako BTS s pikobuňkami. Výhodou je nižší cenová náročnost realizace z důvodu absence nutnosti budování přenosových tras, naopak nevýhodou je nutnost používání odlišného dohledového systému.

Řídicím prvkem BSS subsystému je *BSC* (*Base Station Controller*). Jeho úlohou je řídit provoz podřízených BTS a komunikovat pomocí A interfacu s NSS. Může obsluhovat i více než 100 BTS. Mezi hlavní úlohy BSC patří přidělování uvolněných kanálů, komunikace s ústřednou a řízení předávání hovorů mezi buňkami tzv. handover. Příklad BSC bodu umístěného na panelovém domě je zobrazen na



OBRÁZEK 4.5 ZÁKLADNOVÁ STANICE T-MOBILE
ZDROJ: T-MOBILE CZECH REPUBLIC

obrázku 4.5. Díky velkému množství mikrovlnných parabol a přítomnosti velkých parabol (průměr 1,2 m) je zřejmé, že se jedná právě o BSC lokalitu. BSC lokalita se skládá ze

samotné technologie, napájecího systému a přenosové soustavy. Kontrolér dokáže, v dnešní době, obsloužit až 2048 TRX, což představuje přibližně 650 000 uživatelů. Umí komunikovat pomocí rozhraní E1 a STM-1. U nových revizí je v BSC zabudována také jednotka PCU, která slouží pro paketové přenosy. Při implementaci paketových přenosů do GSM systémů byla tato jednotka umisťována separátně. Pro zajímavost se v síti poskytovatele T-Mobile Czech Republic nachází přibližně 115 BSC, průměrné BSC tedy řídí 110 buněk a 320 TRX.

4.2.2.3 Subsystem síťový a spojovací – NSS (Network and Switching Sub-System)

NSS je subsystem, jenž zastřešuje přepínání hovorů, komunikaci s externími sítěmi, identifikaci zákazníka, sledování informací pro účtování hovorů. Architektura v rámci standardu GSM je zobrazena na obrázku 4.2. v pravé části. Prvky NSS subsystemu budou charakterizovány v následujících odstavcích. V této kapitole je charakteristika zaměřena na strukturu NSS v případě Release 99⁵. Tato architektura je stále využívána ve velké části sítí, nicméně je dnes poměrně zastaralá a není připravena nativně na IP provoz. V souvislosti s rozmachem sítí vyšších generací je nejčastěji integrován NSS Release 4, který mění koncept fungování a architekturu NSS. Této změně bude věnována část kapitoly věnující se technologii 3G.

Mobilní spínací ústředna - MSC (Mobile services Switching Centre)

MSC je obdobou klasické ústředny známé z fixních telekomunikací. Její funkce jsou však rozšířeny nad rámec pouhého přepínání okruhů. MSC zajišťuje především řízení hovoru, kde identifikuje původní a cílovou destinaci hovoru a také jeho typ (hlas, data, fax). Součástí řízení hovoru je odpovědnost za jeho sestavení, sledování a terminaci. MSC sbírá data pro účtování, které dále zasílá na účtovací zařízení. V případě, že ústředna umožňuje komunikaci do externích sítí, nazývá se Gateway MSC (GMSC).

Domovský lokační registr – HLR (Home Location Register)

Jedná se o registr shromažďující důležitá data o užívatelích sítě a jejich službách. Obsahuje například účastnické číslo IMSI, MSISDN, povolené služby a restriktce. Pro umožnění směrování hovorů obsahuje také informaci o poloze, a to pomocí identifikace

⁵ Release – česky sestavení je souhrnný balíček změn, který je implementován v jednom časovém okamžiku

VLR, ve kterém se účastník nachází. Součástí domovského registru je také autentifikační centrum AuC, které ověřuje klíč obsažený na SIM kartě s klíčem umístěným ve své databázi. Někteří výrobci mají jako součást HLR registr identifikace zařízení (EIR). Ten je zde z bezpečnostních důvodů a slouží pro ověření IMEI⁶ telefonu. Pokud je telefon kradený a evidováno jeho IMEI v tomto registru, nebude umožněno terminálu přihlášení do sítě.

Návštěvnícký lokační registr – VLR (Visited Location Register)

Jedná se o dočasnou databázi uživatelů, kteří se v dané době nacházejí v dosahu ústředny. Každá ústředna má tedy svůj VLR. Jakmile účastník opustí oblast stávající ústředny, data z VLR se smažou a nově se vytvoří záznam ve VLR ústředny, kde se účastník právě nachází. Jedná se o kopii údajů z HLR, obsahuje identifikační údaje uživatele, údaje pro autentifikaci SIM karty a seznam služeb dostupných danému uživateli.

4.2.2.4 Subsystem řízení a údržby – OMS (Operating and Maintenance Subsystem)

OMS subsystem komunikuje s většinou GSM prvků v síti. Sleduje jejich stav, vytížení. Zasílá alarmany, které jsou evidovány v dohledových nástrojích. Umožňuje tak vzdálené dohlížení a sledování sítě. Jednou z funkcionalit je také možnost vzdálené konfigurace síťových prvků.

4.3 Služby sítě

Důvodem, pro který je vybudován systém GSM, je poskytovat uživatelům mobilní telekomunikační služby. V prvních fázích standardu jsou tímto myšleny služby hlasové, faxové, datové – přepínané a jejich přidružené služby jako například záznamová služba, směrování hovoru. S rozmachem standardu vznikají další služby, mezi něž můžeme zařadit krátké textové zprávy SMS, GSM banking a jiné. Důležitým milníkem pro rozvoj GSM bylo přidání podpory paketového přenosu, s nímž souvisí rozvoj GPRS, EDGE, MMS a dalších služeb s přidanou hodnotou. Tyto služby budou charakterizovány v následujících pasážích.

⁶ IMEI – International Mobile Equipment Identity number – jedná se o číslo jednoznačně identifikující terminál.

Aby mohl uživatel služby sítě využívat, musí být řádně autentifikován. *Autentifikace uživatele* probíhá při každém přihlášení do sítě. Jak již bylo řečeno v předešlých částech, ověření probíhá na základě klíče na SIM kartě a údajů v HLR, respektive AuC. Ověření uživatele probíhá na signalizační lince a zjednodušeně lze jednotlivé kroky charakterizovat následovně.

1. Síť zasílá terminálu 128 bitové náhodné číslo, označované RAND,
2. Na základě znalosti A3 algoritmu a klíče Ki, umístěného na SIM kartě, vypočítává terminál hodnotu SRES,
3. Hodnota SRES je zaslána zpět do sítě,
4. Síť spočte naprosto stejnou hodnotu na straně sítě – tzn. údaj Ki je získán z AuC,
5. Pokud se tyto hodnoty shodují, uživatel je úspěšně autentifikován a přihlášen do sítě.

4.3.1 Hlasové služby

Hlasové služby jsou páteří službou GSM standardu. Jejich definice vzešla již z 1. fáze vývoje, v dalších fázích došlo hlavně k rozšíření spektra kodeků a doplňkových služeb souvisejících s telefonním hovorem. V závislosti na kodeku⁷ je hlas v síti distribuován rychlostí mezi 6,5 kb/s až 13 kb/s. Prvním používaným kodekem je *Full Rate (FR)* GSM 6.10. Jeho přenosová rychlost je 13 kb/s a kvalita hlasu je obstojná, avšak lepší nežli v případě jiných mobilních technologií tehdejší doby. Ve většině případů je nahrazen kodekem *Enhanced Full Rate (EFR)* GSM 6.60. EFR, který dokáže, při přenosové rychlosti 12,2 kb/s, přenést hlas výrazně kvalitněji a věrněji. Jeho výhodou je kvalitní odstranění šumu, naopak mírnou nevýhodou je vyšší energetická náročnost. Třetí používanou variantou kodeku je *Half rate (HR)* GSM 6.20. Využívá poloviční šířku pásma, dokáže tedy skokově navýšit kapacitu sítě. Nabízí také významně nižší spotřebu. Vše samozřejmě za cenu horší kvality. Posledním a dnes nejvyužívanějším kodekem je *AMR (Adaptive Multirate Compression)*, který dokáže nastavit šířku pásma a kvalitu na základě hodnot ze sítě, kterými jsou kvalita signálu a využití kapacity sítě. Je kompatibilní s EFR GSM 6.60 kodekem. Původně je implementován hlavně pro účely UMTS, nicméně se ujal také v oblasti GSM.

⁷ Výraz **kodek** je odvozen ze složenina dvou pojmů - kodér a dekodér. Kodek je software nebo hardware, který dokáže transformovat datový proud.

Základní hlasovou službou GSM je uskutečnění telefonního hovoru mezi dvěma účastníky. Pro sestavení hovoru je nutné provést proceduru, která je uvedena na příkladu spojení mobilního účastníka a účastníka pevné PSTN sítě. Procedura je uvedena v příloze 1 této práce. Doplňkovými hlasovými službami jsou:

Identifikace volajícího – CLI (Calling Line Identification) je služba, pro kterou v síti existují dvě nastavení - CLIP a CLIR. CLIP, který je nastaven jako výchozí, umožní volanému číslo volajícího vidět na displeji svého telefonu, kdežto CLIR tuto možnost zamezí. Variantou opačnou k této službě je služba *identifikace volaného - COL (Connected Line Identification)*. Nastavení COLP umožní volajícímu vidět na displeji číslo volaného, to se změní například v případě přesměrování, kdežto COLR zamezí volajícímu vidět číslo, na které byl přesměrován.

Čekání a přidržení hovoru (call waiting and call hold) – systémy GSM jsou schopny pracovat se dvěma hovory na jedné lince. Přidržení hovoru nám umožní přepnout na hovor, který na lince čeká na spojení.

Přesměrování hovoru (call forwarding) umožní účastníkovi sítě přesměrovat příchozí hovor na jiné telefonní číslo. Služba má několik možných nastavení v závislosti na tom, zdali účastník hovor nepřijímá, je nedostupný, případně je zaneprázdněný.

Blokování hovoru (Barring of calls) přináší možnost blokovat určité typy hovorů. Jedná se o zamezení odchozích a příchozích hovorů. Blokování můžete dále specifikovat na blokování všech, případně pouze roamingových hovorů.

Služby přesměrování a blokování hovorů se nastavují pomocí číselných kódů, které jsou zadávány jako klasické telefonní číslo. Aktivování je provedeno po potvrzení tohoto kódu.

Konferenční hovor (conference call) je ve standardu GSM také implementován. Zavádí nám funkci spojení až 6 účastníků v rámci jednoho hovoru.

Nouzové volání (emergency call) v síti GSM je zajištěno pomocí jednotného telefonního čísla 112. Tento systém se začal používat právě s GSM. Nouzové volání je umožněno také v případě, že nemáte v terminálu SIM kartu, případně jste mimo dosah signálu svého poskytovatele.

Push to Talk je obdoba funkce vysílačky v prostředí GSM. Specifikem služby je, že vždy může hovořit pouze jedna strana a hovoří vůči všem účastníkům skupiny najednou. Nejedná se tedy o plně duplexní komunikaci. U nás má tuto službu implementovanou pouze O2.

Záznamová služba VMS (Voice Mail Service) je služba, která se u nás netěší přílišné oblibě. Nicméně ve světě je hojně využívána. Jedná se o záznam hovorů a jeho uložení na straně poskytovatele, v době kdy je nemůžete přijmout. Na bázi VMS jsou však postaveny nadstavbové služby, které používá většina uživatelů v ČR. Jednou z nich je registr zmeškaných hovorů. Ten záznam hovoru neuschovává, ale přepoše SMS notifikaci o neuskutečněném hovoru v případě nedostupnosti. Další obdobou záznamové služby je například služby společnosti T-Mobile – MMS hlasový kurýr. Ta zajistí přeposlání záznamu hovoru pomocí MMS.

4.3.2 Datové služby

Důležitou součástí GSM je poskytování datových služeb. V prvních specifikacích je implementována technologie přenosu dat na základě přepínaných okruhů (CSD). V roce 1997 došlo k implementaci paketových služeb a tím také k výraznému zvýšení přenosových rychlostí. V této fázi se začíná říkat, že sítě jsou 2,5 generace. Nyní budou funkčně charakterizovány oba přístupy k datovým službám v GSM.

4.3.2.1 Datové služby přepínaných okruhů

CSD (Circuit Switched Data)

Jedná se o klasický přenos dat fungující na podobném principu jako přenos hlasového hovoru a využívající TDMA metody mnohonásobného přístupu. Datovému přenosu je po celou dobu spojení vyhrazen jeden timeslot mezi základnovou stanicí a terminálem. Nevýhodou je, že pokud kanálem žádná data neproudí, zůstává kanál nevyužitý a zbytečně tak snižuje kapacitu systému.

Rychlost přenosu dat, která je u tohoto systému 9,6 kb/s, se zdá být nízká. Pro běžné koncové uživatele tento způsob přenosu nemá dnes význam. Jeho výhodou je však použití pro aplikace vyžadující okamžitou odezvu, nízké požadavky na přenos dat a nerozkolísanost přenosu.

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)

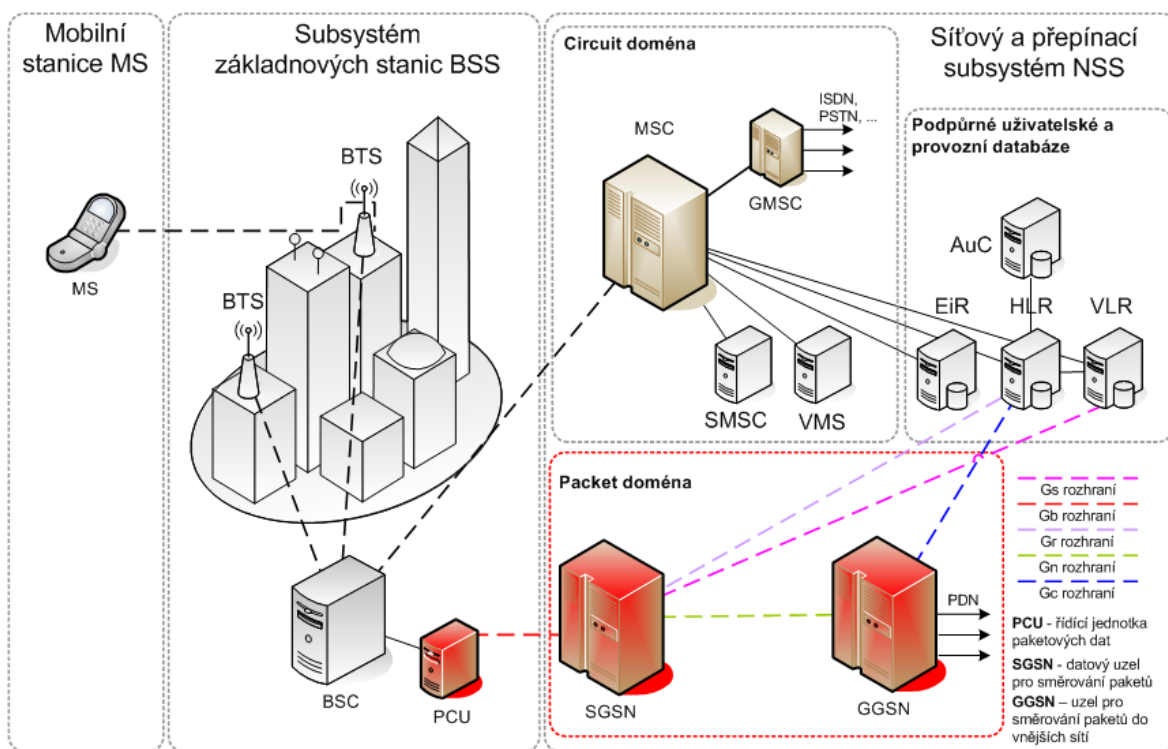
Dalším vývojovým stádiem CSD je HSCSD fungující na stejném principu. Zrychlení je dosaženo nižším zabezpečením přenosu, kdy byl zredukován počet korekčních bitů. Rychlost přenosu se tím zvýšila z původních 9,6 kb/s na 14,4 kb/s na timeslot. Navíc je umožněno vyhradit více timeslotů v rámci kanálů. Využíván je jeden pro dopředný a tři pro zpětný směr přenosu dat. Rychlost přenosu dat se tímto zvýší na 43,2 kb/s pro download a 14,4 pro upload. Technologie také umožňuje změnit výchozí asymetrický způsob přenosu na symetrický s rychlostí 28,8 kb/s v obou směrech. V České republice integroval službu HSCSD pouze tehdejší Eurotel.

4.3.2.2 *Paketová data*

Implementace paketového způsobu přenosu dat způsobila revoluci v mobilním přenosu dat. Došlo k výraznému zvýšení rychlosti přenosu, efektivnějšímu využívání rádiových prostředků a také změně způsobu účtování. Součástí standardu se stal paketový způsob přenosu v roce 1998 a první komerční spuštění byly v roce 2000.

GPRS (General Packet Radio Service)

Standard GPRS umožňuje efektivněji nakládat s rádiovými prostředky tím, že přiděluje volné timesloty na základě skutečného využití. Pokud uživatel nepřenáší žádná data, jsou tyto prostředky volné a připraveny pro jiné uživatele. Systém je však připraven dynamicky obnovit přenos dat dle požadavků. Je takto udržováno stálé spojení mezi účastníkem a sítí na signalizačním kanále. S tímto způsobem práce je spojena také změna účtování, která je prováděna na základě počtu přenesených dat, nikoli minutové tarifkace. Integrace GPRS znamenala pro síť GSM změnu fyzické struktury. Do sítě musely být integrovány prvky zvládající paketové přenosy. Změna architektury systému je znázorněna na obr 4.7. Takto změněné systémy jsou označovány jako síť 2,5 G a jejich páteřní architektura je základem pro budoucí síť 3. generace – UMTS.



OBRÁZEK 4.6 ARCHITEKTURA GPRS
ZPRACOVÁNO DLE STANDARDŮ GSM A 3GPP

Novými prvky systému jsou *SGSN* (*Serving GPRS Support Node*) a *GGSN* (*Gateway GPRS Support Node*), které umožňují práci s paketovými daty na úrovni páteřní sítě. *SGSN* je datovým uzlem sloužícím ke směrování paketů mezi sítí a uživateli v geografické oblasti spadající pod přidělené *SGSN*. Zajišťuje autentifikaci, řídí logické kanály, řídí komunikaci s domovským registrem, BSC a uzlem *GGSN*, který má na starost spojení s vnějšími sítěmi.

Změnou prošel také kontroler BSC, jehož součástí se stala jednotka *PCU* (*Packet Control Unit*). Jednotka se stará o identifikaci a řízení paketového přenosu dat a jejich směrování směrem k *SGSN*. *PCU* bývá umístěn separátně jako samostatný box, případně je přímo integrován.

Podobně, jak bylo dosaženo zvýšení rychlosti u HSCSD vzhledem k CSD, se postupuje také u GPRS. Zde je počet korekčních bitů závislý na kvalitě rádiového přenosu. Na základě měření mobilní stanice je přenosu přiřazeno jedno ze čtyř kódových schémat, které určí počet korekčních bitů a tím rychlost přenosu. Dalším parametrem určujícím výslednou rychlost přenosu je počet přiřazených timeslotů, kterých může být maximálně 8.

Ten je určován na základě aktuálního vytížení sítě a je přidělován dynamicky, stejně tak je dynamicky v závislosti na podmínkách měněno kódovací schéma. Tabulka 4.3 zobrazuje teoretické maximální rychlosti přenosu dat v závislosti na uvedených podmínkách.

Pro využití maximálních přenosových rychlostí je důležitá také podpora ze strany koncového terminálu. Podporu je možné zjistit na základě třídy telefonu, která určuje maximální počet využívaných timeslotů pro download a upload.

TABULKA 4.3 KÓDOVACÍ SCHÉMATA GPRS

Kódovací schéma	Rychlost na jeden timeslot [kb/s]	Maximální rychlost při využití 8 timeslotů [kb/s]
CS1	8	64
CS2	12	96
CS3	14,4	115,2
CS4	20	160

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

Dalším stádiem zrychlování přenosových rychlostí v sítích GSM je technologie EDGE vyvinutá společností Ericsson. Nepřináší zásadní změny struktury sítě. Vyžaduje softwarový upgrade a výměnu rádií. Principem zvýšení rychlosti je změna modulace ze dvoustavové na osmistavovou 8-PSK (Eight Phase Shift Keying). U systému EDGE dochází stejně jako u GPRS k volbě kódovacích schémat na základě kvality dostupného signálu a přidělování timeslotů, jejichž šířka zůstává nezměněna. Pro vyšší kódovací schémata je nutné dosáhnout vysokého odstupu signálu od šumu. Pokud je kvalita signálu nízká zůstává modulace dvoustavová GMSK, v případě kvalitnějšího příjmu se změni na osmistavovou. Kódová schémata pro EDGE jsou uvedena v tabulce 4.4, kdy pro dosažení schémat MCS7 až MCS9 je nutno použít dvě rádia. Je nutno zmínit, že využití modulace 8-PSK je možné také u vytáčených dat pod označení ECSD. V praxi se však příliš nevyužívá.

TABULKA 4.4 KÓDOVACÍ SCHÉMATA EDGE

Kódovací schéma	Typ modulace	Rychlost na jeden timeslot [kb/s]	Maximální rychlost při využití 8 timeslotů [kb/s]
MCS1	GMSK	8,8	70,4
MCS2		11,2	89,6
MCS3		14,8	118,4
MCS4		17,6	140,8
MCS5	8-PSK	22,4	179,2
MCS6		29,6	236,8
MCS7		44,8	358,4
MCS8		54,4	435,2
MCS9		59,2	473,6

Pro charakterizaci datových přenosů v rámci GSM sítě bylo čerpáno z (10), (9).

4.3.3 Textové a ostatní služby

Hlasové a datové služby nejsou zdaleka jedinými dnes využívanými funkcemi GSM platformy. Existuje celá řada dalších funkcionalit. V tomto směru je potřeba zmínit zejména textové zprávy a v souvislosti s možností paketových přenosů také zprávy multimediální.

4.3.3.1 SMS (Short Message Service)

SMS je službou pro zasílání krátkých textových zpráv v rámci GSM sítě. Zprávy jsou zasílány pomocí volné kapacity na signalizačním kanále do SMS centra (SMSC). SMSC slouží jako úschovna a přeposílač zpráv směrem k adresátům. V případě, že adresát není dostupný, ponechá zprávu uloženu po určitou dobu ve své paměti.

V počátcích jsou zprávy omezeny na 160 znaků bez národních specifik. Později došlo k implementaci znakové sady UTF-16, která umožnila využít kompletní sadu znaků národních abeced. V souvislosti s tímto je kapacita textové zprávy nedostačující. Došlo k možnosti zasílat více spárovaných zpráv. Standard umožňuje takto párovat až 255 zpráv,

v praxi je však využíváno omezení na maximálně 8 zpráv v závislosti na typu mobilního terminálu.

4.3.3.2 MMS (Multimedia Message Service)

Služba MMS je primárně funkcionalitou sítí 3. generace. Pozdější revize GSM ji však umožňují využívat také v rámci sítě GSM. Tato služba je podrobněji charakterizována v kapitole o technologiích 3G.

4.3.3.3 VAS (Value Added Services)

Parametry sítě GSM umožňují vytvářet služby určené na míru velkým korporátním zákazníkům. Je možné tak zřídit přímé propojení na ústředny, nabídnout služby virtuální podnikové ústředny, případně umožnit také užívání krátkých předvoleb v rámci této virtuální sítě. Korporátní zákazníci mají možnost například vytvářet pravidla pro komunikace v rámci společnosti a mimo ni. Poskytovatelé mobilních sítí se na tyto služby v posledních letech úzce specializují. Právě zde mohou nabídnout diferenciaci vůči svým konkurentům. Vzhledem k různorodosti zde není možno vyjmenovat veškeré možnosti VAS.

4.3.3.4 IN (Intelligent Networks)

Důležitou součástí dnešních mobilních sítí jsou inteligentní sítě. Ty umožňují například online tarifkaci zákazníků, nastavení tarifních zvýhodnění a další možnosti. Rozvoj těchto sítí nastal v souvislosti se zavedením předplacených služeb. Také v dnešní době je hlavní úlohou IN vytvářet možnosti a udržovat provoz v oblasti předplacených služeb.

4.4 Současnost a rozvoj GSM

V kapitole o standardu GSM byla charakterizována architektura, způsoby přenosu, nabízené služby a spousta dalších možností, které tato síť nabízí. V dnešní době jsou GSM sítě páteří telekomunikačních operátorů. Přestože jejich největší rozmach již proběhl, i dnes mají důležité místo na trhu. Rozvoj směrem k dalším generacím je důležitý zejména z pohledu datových služeb, avšak pro hlasové služby je standard GSM plně dostačující. Implementace nových funkcionalit do tohoto standardu je již spíše minoritní a týká se především oblasti korporátních zákazníků se zaměřením na služby s přidanou hodnotou (VAS). Ty však již samotný standard nemění a slouží spíše k dokonalejšímu využití

možností služeb na straně operátorů. Pomyslným hřebíčkem do rakve bude pro GSM masivní rozšíření UMTS, které spolu s výstavbou sítí 4. generace umožní postupné vypínání GSM sítí. Standard však ještě není mrtvý a poslední zásadní úpravu, kterou bude schopný akceptovat, bude pravděpodobně využití vysoké kvality zvuku u hovoru tzv. HD Voice. Ten je určen předně pro sítě vyšších generací, ovšem vzhledem k nepřehlédnutelnosti GSM bude implementován i do něj. Možným posunem v oblasti datových služeb může být vyvíjený standard EDGE 2, který by umožnil sítím za relativně malých nákladů, zvýšit přenosové rychlosti paketových dat.

5. Technologie 3G UMTS a CDMA

Rodina GSM platformy přechází do další generace, která je známa pod označením UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Nabízí hlasové služby na principu GSM, nicméně přidává nové funkcionality jako video hovory a hlavně se zaměřuje na poskytování kvalitního datového přenosu s vyššími přenosovými rychlostmi a kratší odezvou. Konkurenční platformou je CDMA, která využívá některých odlišných principů a není kompatibilní s rodinou sítí GSM.

5.1 Historie 3G sítí

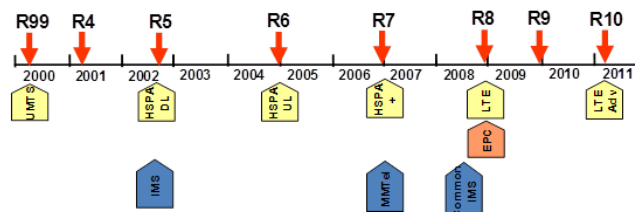
Původní myšlenkou a impulzem pro vývoj nového systému mobilní komunikace byla v roce 1986 představa ETSI o vývoji jednotného univerzálního systému používaného po celém světě, ve stejném frekvenčním pásmu a umožňujícího globální roaming. Systém byl vyvíjen pod názvem FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System). Vzhledem ke specifikům jednotlivých oblastí a stupni rozvoje se myšlenka na zcela unifikovaný systém nepodařila naplnit. Postupně tak vznikla skupina standardů pro síť 3. generace pod názvem IMT-2000 (International mobile Telecommunications for the Year 2000) v rámci níž vznikl také standard UMTS (The Universal Mobile Telecommunications System). Dle (6) jsou vývojové kroky vzniku nového standardu následující:

- 1990 byla dedikována skupina SMG5, která měla za úkol vývoj standardu pro síť 3. Generace
- 1992 na konferenci WARC'92 byla alokována frekvenční pásma pro systémy standardu IMT-2000
- 1993 v rámci asociace rádiového průmyslu a obchodu ARIB vzniká skupina pro rozvoj standardu IMT-2000, která postupně navrhne několik principů v rámci rádiové komunikace pro tento standard
- 1998 bylo rozhodnuto o použití metody vícenásobného přístupu pomocí WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)
- 1999 vychází standard UMTS v sestavení Release99, který je základem pro UMTS a rozšíření GSM Phase 2+ a umožňuje pracovat s paketovými daty

V rámci následujících let vznikala nová sestavení pro UMTS a standard byl významně rozšiřován do dnešní podoby. Seznam a stručná charakteristika jednotlivých sestavení je v následující tabulce. Jednotlivé fáze a rozdíly budou podrobněji vysvětleny v další části kapitoly.

TABULKA 5.1 UMTS RELEASES
ZPRACOVÁNO DLE STANDARDŮ 3GPP

<i>Release 99</i>	<ul style="list-style-type: none"> - vylepšení pro GSM data (EDGE), první standard pro UMTS - většina funkcionalit dnešních sítí je založena na tomto sestavení.
<i>Release 4</i>	<ul style="list-style-type: none"> - krok směrem k All-IP sítím, změněna část páteřní architektury sítě - většina komunikace probíhá na protokolu IP - přidána je podpora multimediálních zpráv.
<i>Release 5</i>	<ul style="list-style-type: none"> - podpora HSDPA, síť má plnou podporu IP provozu. - implementace IMS (<i>IP Multimedia CN subsystem</i>) do páteřní struktury
<i>Release 6</i>	<ul style="list-style-type: none"> - podpora HSUPA - spolupráce s bezdrátovými LAN sítěmi. - nové funkcionality do IMS, využití VoIP
<i>Release 7</i>	<ul style="list-style-type: none"> - podpora HSPA+, evoluce EDGE - vylepšení QoS pro efektivní využívání VoIP - NFC komunikace
<i>Release 8</i>	<ul style="list-style-type: none"> - vylepšení HSPA + - využívání MIMO a modulace 64QAM - podpora DC-HSPA, specifikace LTE
<i>Release 9</i>	<ul style="list-style-type: none"> - kombinace MIMO a DC-HSPA, podpora femtocell - vylepšení páteřní architektury
<i>Release 10</i>	<ul style="list-style-type: none"> - vylepšení HSPA+ - podpora LTE Advanced – přechod na plnohodnotné 4G



OBRÁZEK 5.1 VÝVOJ UMTS
ZDROJ: (15)

Ke spuštění prvních sítí UMTS ve světě dochází v roce 2001, ovšem mohutná vlna komerčních zprovoznění nastává až v průběhu let 2003 a 2004. Úskalím pro implementaci byla tehdejší vysoká očekávání a přemrštěné ceny licencí, které zatížily rozpočty poskytovatelů. Ti vlastnili licence k provozování, nicméně jim nezbyl dostatek prostředků pro výstavbu sítě. První dvě světové implementace jsou následující.

říjen 2001 spuštěna první komerční WCDMA síť v Japonsku

prosinec 2001 zprovozněna první UMTS síť v Evropě poskytovatele Telenor

V České republice, ačkoli trh byl v minulosti růstový, operátoři implementují ve větším měřítku UMTS FDD až poslední rok a to hlavně díky vzájemnému konkurenčnímu boji. Výhodou může být, že T-Mobile svou síť rovnou obohatil technologií HSPA+, která je posledním evolučním stádiem 3G před LTE s teoretickou maximální rychlosti downloadu na úrovni 21 Mb/s. Již dříve však spustil UMTS TDD, v částečně modifikovaném standardu, aby dokázal konkurovat datovému CDMA od Eurotelu. Tato volba se však neukázala být vhodnou. Vzhledem k tomu, že standard UMTS TDD se ve světě nikdy neuchytil, zůstal operátor sám, který TDD verzi implementoval. Ostatní dva poskytovatelé ve své síti využívají technologii HSPA, respektive HSUPA. Brzdou investic do výstavby byla v minulých letech nízká poptávka trhu a vysoké vstupní náklady na nákup licencí pro provozování UMTS sítí. Licence koupil T-Mobile a Eurotel v roce 2001 za 7,4 miliardy Kč. Vodafone se tendru neúčastnil a licenci zakoupil o čtyři roky později za 2 miliardy Kč. Vývoj 3G sítí v České republice je vidět v následujících řádcích.

- 2001
 - vypsán tendr ČTÚ na licence pro UMTS
 - T-Mobile a Eurotel nakupují licence, další zájemci o licence se vzhledem k vysoké ceně neobjevili
- 2005
 - zprovoznění UMTS FDD Eurotelu a T-Mobile TDD T-Mobilu
 - Vodafone pořizuje licenci UMTS za 2 miliardy Kč
- 2006
 - Eurotel implementuje HSDPA
- 2009
 - Vodafone spouští UMTS FDD na úrovni HSPA, HSUPA
 - O2 má pokrytí na úrovni krajských měst
 - O2 spouští rychlejší upload pomocí HSUPA

- 2010
 - T-Mobile spouští UMTS FDD HSPA, HSUPA
 - T-Mobile implementuje technologii HSPA+
- 2010 – 2011
 - probíhá masivní výstavba UMTS sítě, na konci roku 2011 se očekává u všech aktérů na trhu úroveň pokrytí mezi 50 – 60% obyvatel
- 2011
 - T-Mobile povoluje pro některé uživatele maximální datový tok 21
 - podepsána dohoda mezi O2 a T-Mobile o sdílení části 3G sítě v menších městech a vesnicích
 - operátoři dosahují pokrytí 40%, nejvíce základnových stanic má Vodafone

5.2 Charakteristika sítě

Celulární rádiové sítě UMTS spadají do rodiny GSM standardu. Z tohoto důvodu je vývoj prováděn s ohledem na sítě starší generace. Z důvodu vzájemné kompatibility je umožněn plynulý přechod mezi sítí 2G a 3G. Způsob předávání je označován jako mezi systémový handover. Architektura sítě je velmi podobná síti GSM, obzvláště od období Release 99, kdy byla přidána do GSM sítě podpora paketového přenosu dat. UMTS sítě operují ve frekvenčních pásmech okolo 1900 MHz a 2100 MHz. Nově je standardizováno využití frekvence 900 MHz, kdy je možné využívat volné frekvence v rámci GSM pásma.

5.2.1 Architektura sítě

Architektura využívá podobných principů, které známe ze sítě GSM, nicméně jsou zde odlišnosti a je využíváno odlišné názvosloví. Skládá se ze tří subsystémů: koncového terminálu UE, rádiového subsystému RNS a páteřní sítě CN. Architektura je zobrazena na obrázku 5.2. Jednotlivé subsystémy budou charakterizovány v následujících odstavcích.

Uživatelský terminál UE (User Equipment)

Struktura uživatelského terminálu a jeho funkce jsou velice podobné terminálu GSM sítě. Vzhledem k náročnosti služeb se zvyšují pouze energetické nároky a přidává čip pro příjem UMTS signálu. Vzhledem k tomu, že součástí standardu UMTS jsou video hovory, většina terminálů na trh je vybavena také fotoaparátem s videokamerou.

Subsystém rádiových sítí RNS (Radio Networks Subsystem)

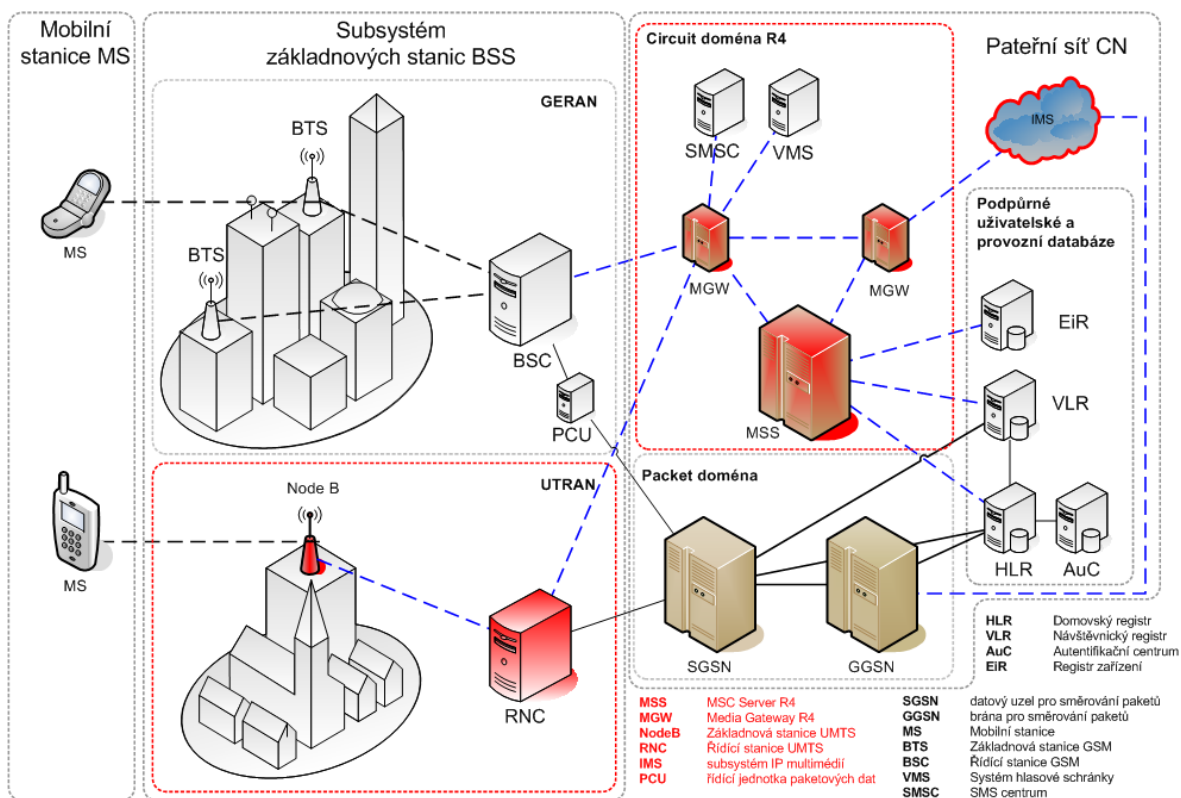
Subsystém RNS zajišťuje propojení uživatelského terminálu (UE) s páteří sítí (CN). RNS se skládá ze základnových stanic NodeB a jejich řídicího prvku RNC (Radio Network Controller). V síti zpravidla existuje více RNS subsystémů, které dohromady tvoří UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

Vzhledem k tomu, že principy RNS jsou velmi podobné BSS v síti GSM, nebude se text tímto subsystémem podrobněji zabírat. Pro pochopení je dobré zmínit, že NodeB je ekvivalentem BTS a RNC ekvivalentem BSC. Rozdíl v systémech je ve využívání odlišných frekvenčních pásem a poněkud v rozdílném přístupu k přenosu dat. Jak bylo uvedeno v kapitole 4.2.2., BSC dokáže řídit okolo sta základnových stanic. RNC je v tomto významně dále a počet řízených NodeB se pohybuje ve stovkách.

Páteří sítí CN (Core Network)

S vývojem standardu UMTS a novými revizemi je CN část sítě jednou s nejvíce se měnících. Po implementaci paketového přenosu byla architektura, která byla součástí Relasu 99, totožná pro GSM i UMTS. Proto se text nebude na tuto architekturu zaměřovat, dostatečně je vysvětlena v kapitolách 4.2.2. a 4.3.2. K zásadním změnám dochází s nasazováním vydání R4 a R5, kdy je patrný přechod směrem k All-IP architektuře. Dnes stále většina sítí na světě pracuje na původní CN architektuře R99 a do svých služeb dodává pouze podporu paketových služeb z nových vydání a přizpůsobuje je své páteří sítí. Pokud poskytovatelé přechází na nový typ architektury, je to architektura R4, další vydání nejsou dostatečně otestována a podporována hlavními hráči na trhu v oblasti vývoji a výstavby páteřních systémů.

Páteří sítí CN se skládá v rámci R4 stále z *CS domény* pro podporu přepínaných služeb a *PS domény* pro podporu paketového přenosu. Architektura je zobrazena na obrázku 5.2. R4 přináší poprvé možnost implementace Voice over IP (VoIP) pomocí standardizovaného řešení, což zajistí bezpečnou interoperabilitu mezi stávající infrastrukturou a VoIP páteří sítí.



**OBRÁZEK 5.2 ARCHITEKTURA UMTS RELEASE R4
ZPRACOVÁNO DLE STANDARDŮ 3GPP**

Tento standard 3GPP dále na úrovni CS domény odděluje signalizaci a kontrolu hovoru od provozu. Toto je zajištěno pomocí nových prvků, kterými jsou *MSC Server (MSS)* a multimediální brána *MGW (Multimedia Gateway)*. MSS je menší množství nežli bylo MSC u R99, zároveň jsou mezi sebou kruhově propojeny. Tato možnost v minulosti neexistovala. Pokud nastane výpadek jednoho MSS serveru, dojde k přesměrování uživatelů na jiný server. MGW jsou umístěny blíže zákazníkům a zajišťují přepínání a přenos aktuálního provozu. V jedné lokalitě s MGW bývají většinou umístěny dvě tyto jednotky, tak aby šlo o redundantní systém. Celkově je R4 architektura významně odolnější vůči výpadekům způsobeným incidenty, případně plánovanými upgrady. Podpora pro VoIP je zajištěna pomocí *IMS (IP Multimedia SubSystem)*, která spojuje PS doménu s MGW na straně přepínaných služeb. MSS v R4 podporuje také protokol SIP (Session Initiation Protocol) Spojení SMSC a VMS je zajištěno skrze MGW, v případě podpory Sigtran komunikace, může být SMSC propojeno přímo k MSS.

Rozvoj hlasového provozu bude nadále směřovat k přenosu na základě IP komunikace. Následující Release 5 spojuje CS doménu a PS doménu do jednoho IMS. Dojde tím k významné redukci nákladů na straně CS sítí. Zároveň bude nutné nově čelit významnější úloze v rámci zajišťování prioritizace hlasového provozu v IP sítích. V dnešních systémech je z principu architektury zajištěna přednost hlasového hovoru, v budoucnu bude tato možnost zaručena pouze kvalitními principy QoS.

Pro charakteristiku CN bylo využito materiálů společnosti NSN (11).

5.3 Služby sítí 3. generace

Požadavky uživatelů jasně definovaly směřování vývoje komunikace v rámci sítí 3. generací. Zatímco hlasové služby pracují na stále stejných principech, a jistě inovací se tak stávají pouze videohovory, vývoj je soustředěn zejména na služby datové.

Silný rozvoj zaznamenává rozvoj paketových služeb, které s jednotlivými revizemi navyšují rychlosti přenosu a významně snižují latenci. S rozvojem sítí 3. generace jsou již data pomocí přepínaných okruhů využívána velmi zřídka. Nicméně stále také nové architektury páteřních sítí s tímto počítají. Základní principy skončí zřejmě s přechodem na kompletní IP infrastrukturu. Otázkou tedy bude, jak bude zajištěno kvalitní datové spojení pro komunikaci v reálném čase.

U paketových přenosů jsou základní parametry technologie významně lepší, nežli v případě GSM. V případě vydání R99 jsou maximální rychlosti na úrovni 384 kb/s pro download a 64 kb/s pro upload. S příchodem revize R4 došlo k významnému snížení latence z 500 ms na 200 ms. Maximální rychlost downloadu zůstala stejná, došlo ke zvýšení v dopředném směru na až 384 kb/s. Tyto přenosové rychlosti byly dostatečné pro procházení internetem, administraci elektronické pošty, případně pro videohovory, nicméně postupně se staly nedostatečné zejména pro využívání multimediálního obsahu na internetu. Pro přenos je využíván DCH kanál, který je přiřazen každému uživateli. Tento kanál vysílá v časovém interval 10, 20, 40, 80 ms, což se později ukázalo jako limitující pro zvyšování rychlosti a snižování odezvy systému. Z tohoto důvodu se s vydáním nových releasů zaměřuje vývoj směrem ke zvyšování nominálních přenosových rychlostí a to pomocí nových technologií a principů.

5.3.1 HSPA - HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) a HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)

Svou podstatou se jedná o SW změnu, nicméně s rozsáhlým dopadem na starší hardware, který nemusí výkonově zvládat zvýšené nároky. Podpora HSDPA je implementována do UMTS v souvislosti s revizí R5. Některé úkony jsou v zájmu zvýšení rychlosti, přesunuty z řídicího RNC na základnovou stanici NodeB. Zároveň s tímto je umožněna dynamická změna typu modulace mezi QPSK a 16QAM a také zvolen typ kódování. Oba parametry jsou stanoveny na základě měření terminálu a atributu CQI. Další podmínkou pro rychlejší datové služby bylo zvýšení počtu ortogonálních kódů a počtu kanálů. Zásadní je u HSDPA přidání HS-DSCH kanálu, který je na rozdíl od DCH kanálu původního UMTS, sdílen všemi uživateli v daném sektoru. Jeden takový kanál obsadí prostor 16 rozprostíracích kódů. Pro maximální využití kapacity na sektoru, kde je rozprostírací faktor roven 256, je možno využít až 15 HS-DSCH kódů. Maximální teoretické rychlosti přenosů v rámci systémů UMTS jsou udávány pomocí maximálního využití těchto parametrů a výběrem typu modulace. Ve vhodných podmínkách je teoretická maximální rychlost downloadu u systému HSDPA na úrovni až 14,4 Mb/s.

V rámci vydání R6 byla implementována obdoba zrychlení pro dopředný směr a to s názvem HSUPA, kde maximální rychlost uploadu dosahuje až 5,8 Mb/s. Zde dochází ke zvýšení rychlosti zřízení nového kanálu E-DCH, který je obdobou HS-DSCH u HSDPA. Tento kanál je vytvářen pro každého uživatele zvlášť a časový interval přenosu je nastaven na 2 ms. V případě HSUPA nedochází ke změně typu modulace. Společná implementace HSDPA a HSUPA se nazývá HSPA. Technologii HSPA využívá celá trojice mobilních operátorů v České republice v celé své 3G síti.

5.3.2 HSPA+ (Evolved HSPA)

Ještě výraznějšího zvýšení rychlosti přenosu lze dosáhnout nasazením komunikace pomocí technologie HSPA+, která je nadstavbou nad HSPA. V releasu 7 je definována maximální hranice přenosové rychlosti na fyzické vrstvě pro download na úrovni 21,1 Mb/s a pro upload 11,5 Mb/s. Toho je dosaženo změnou typu modulací na 64QAM.

Novinkou představenou v rámci revize R7 je využití technologie MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), která využívá více antén pro distribuci a příjem signálu. Výhodou je zachování šířky pásma a tím zefektivnění využití přiděleného spektra. Systémy MIMO

jsou v HSPA+ využívány v kombinaci 2 x 2, což znamená 2 antény na vysílání a 2 antény na přijímací straně. Pomocí MIMO 2x2 dokáže HSPA+ dosáhnout rychlosti 42,2 Mb/s pro stahování.

Pro charakterizaci datových přenosů v rámci UMTS bylo čerpáno ze zdroje (10).

5.3.3 Hlasové, textové a další služby

V počátcích sítě UMTS jsou služby poskytované tímto standardem shodné se sítěmi GSM. S novými revizemi začíná být zřejmý přístup k IP komunikaci a nativní podpoře hovoru pomocí VoIP, o čemž se zmiňuje předchozí část, která shrnuje změny v rámci páteřní sítě. Doprovodné služby systému jako hlasová schránka, SMS zůstávají nezměněny. Novinkou je nativní podpora videohovorů.

V rámci sítí 3. generace je v souvislosti se zavedením rychlého přenosu dat a novinek v oblasti VoIP možno budovat nové proprietární řešení služeb s přidanou hodnotou. Ty jsou vytvářeny na míru a jsou obdobou VAS v oblasti GSM. Obdobné zůstávají také služby inteligentních sítí, které umožňují provoz předplacených služeb.

5.2 Srovnání s GSM

Shrnutí rozdílů mezi GSM a UMTS lze posuzovat z několika hledisek – uživatelského, technologického, finančního. Největším benefitem oproti GSM je oblast datových služeb. Citelný je zejména velmi vysoký nárůst přenosových rychlostí v průběhu vývoje obou technologií. Technologie 2. generace GSM dosáhla maximální přenosové rychlosti v řádech stovek kb/s, kdežto UMTS v revizi HSPA+ a využitím MIMO dokáže přenést až 84 Mb/s ve zpětném směru. Stejně významně se snižuje odezva systému, která je důležitá pro využití aplikacemi, kde nízká odezva hraje podstatnou roli. Jedná se především o herní software, případně software pro ovládání a řízení strojů, či zařízení.

V rámci ostatních služeb je možno zmínit významnou časovou úsporu při sestavení spojení, která úzce souvisí s nasazením nových typů páteřní sítě a přechodem na IP architekturu. Tato záležitost má vliv na zrychlení také v rámci připojené GSM sítě do R4 CN, nicméně i přesto je při UMTS spojení rychlejší. Jedinou přidanou službou, která úzce souvisí s UMTS jsou videohovory, které se však v praxi příliš neujaly. Zbývající služby je možné s vývojem infrastruktury poskytnout také zákazníkům sítí GSM. Služby, které nejsme

schopti využít v rámci GSM jsou tak vždy ty, které potřebují pro svoje korektní fungování rychlé datové přenosy.

Důležitým rozdíl je také finanční náročnost sítí a to jak při implementaci, tak při provozu. Relativně vysoké částky lze uspořit v oblasti úspory elektrické energie. Snižují se také datové toky, které je nutno přenášet směrem k ústředně a to zejména ty signalizační. Přechod technologie k All-IP architektuře znamená efektivnější využívání frekvenčního pásma a významné navýšení kapacity, což vede k úsporám.

5.3 Současnost a rozvoj

UMTS systémy zažívají v současné době rozmach, kdy téměř většina poskytovatelů GSM využívá také sítě UMTS. Tyto záležitosti lze vysledovat v závěrečné kapitole, která se zabývá statistikami analýzami ohledně mobilních telekomunikačních systémů. V České republice je rok 2011 ve znamení rychlého nárůstu pokrytí technologiemi 3. generace a v souvislosti s tímto je očekáván také významný nárůst provozu skrze tyto sítě.

System je nadále rozvíjen v rámci vývoje rodiny GSM systémů. Další vydávaná sestavení se budou zaměřovat na LTE, avšak i nadále budou přinášet nové možnosti do sítí 3. generací. Postupně je očekáván přechod poskytovatelů na vyšší technologické releasy v rámci PS domény. Předpokládáno je experimentování s technologiemi MIMO 2x2 a 4x4.

6. Nastupující technologie sítě 4G: LTE a další možnosti

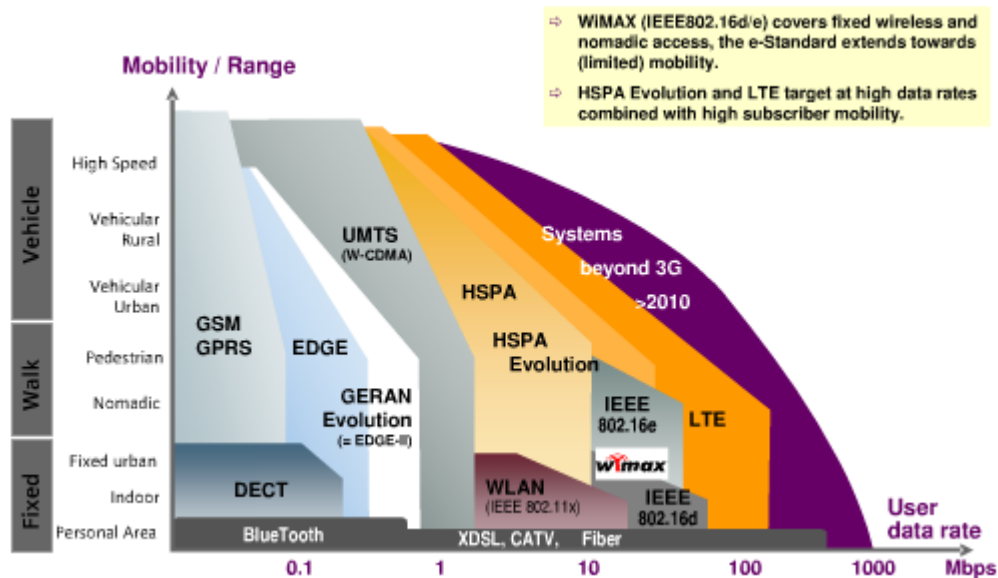
Ačkoli jsou technologie UMTS v roce 2011 plně dostačující a v posledních revizích umožňují přenosové rychlosti i více než 20 Mbit/s, v některých případech začínají požadavky trhu převyšovat možnosti těchto sítí. Právě z tohoto důvodu se v posledních letech rozvíjí technologie 4. generace a postupně dochází k jejich pilotním implementacím ve světě.

6.1 Přehled přicházejících technologií

Trh systémů 4. generace ještě není dostatečně rozvinutý. Není tedy jasné, která z technologií se uchytí a budově masově využívána. Favoritem na největší rozšíření se zdá být systém LTE (Long Term Evolution). Existují však konkurenční platformy, mezi kterými jsou Mobile WiMax, případně iBurst. Všechny uvedené technologie však nesplňují veškeré požadavky standardu IMT-Advanced pro síť 4. generace. Plně standard splňují až jejich následné verze LTE Advanced a Mobile WiMax 2, které jsou však ve fázi raného vývoje a jejich implementace se očekává až po roce 2015. Standardy, kterými se nadále bude zabírat tato kapitola, lze označit spíše jako platformy 3,9G, běžně v médiích označované jako 4G.

Požadavky ITU na síť 4. generace:

- rychlost ve špičce pro download je minimálně 100 Mb/s při šířce pásma 20MHz a plné mobilitě
- rychlost ve špičce pro upload je minimálně 50 Mb/s při šířce pásma 20 MHz a plné mobilitě
- rychlost přenosu u stacionární stanice až 1 Gb/s
- podpora 200 aktivních uživatelů na buňku
- latence nižší než 5 ms
- fungování přenosu až do rychlosti 350 km/h a dosah buňky až 100 km
- dynamicky přidělované frekvenční spektrum v rozmezí 1,25 – 20 MHz
- kompatibilita a možný handover směrem k 3G/2G a dalším sítím
- kompletní IP architektura



OBRÁZEK 6.1 VÝVOJ MOBILNÍCH SÍTÍ A JEJICH PŘENOSOVÝCH RYCHLOSTÍ
ZDROJ: (13)

6.1.1 LTE – Long Term Evolution

Standardizační fórum 3GPP, které vytvářelo standard UMTS, pokračuje ve vývoji systémů na bázi GSM. V rámci Release 8 je představen standard pro technologii označovanou jako LTE (Long term Evolution). Byl vydán 11. prosince 2008 a bylo tím umožněno výrobcům plně začít pracovat na vývoji síťových elementů a koncových terminálů. Výhodou postupného vývoje v rámci rodiny sítí GSM je zpětná kompatibilita terminálů LTE s UMTS a GSM. První komerčně spuštěnou sítí LTE je síť společnosti TeliaSonera ve švédském Stockholmu a norském Oslu, která byla zprovozněna na konci roku 2010. Uživatelé zde využívají prozatím pouze datových služeb za pomoci USB modemu. Mobilní telefony s LTE podporou prozatím nejsou běžně k dostání. Důvodem je zejména energetická náročnost přenosu. S optimalizací je však očekáváno, že zařízení budou obdobná těm dnešním pro 3G sítě.



OBRÁZEK 6.2 LOGO LTE
ZDROJ: 3GPP.COM

Stejně jako v případě UMTS je těžiště inovací směřováno k datovým službám. V rámci LTE se již počítá s IP end-to-end architekturou, která umožní flexibilní a rychlé připojení a také snadnější administraci sítí. Úlohu řídicích prvků definitivně přebírá

základnová stanice, v případě LTE se jedná o eNode B. Pro dosažení vysokých přenosových rychlostí využívá LTE větší šířku pásma (až 20 MHz), metodu vícenásobného přístupu OFDMA a více anténové technologie MIMO. Pro splnění podmínky sítě 4. generace musí šířka pásma narůst až na 100 MHz, kde se dostáváme při využití dalším optimalizací na rychlost přesahující 1 Gb/s.

6.1.2 Mobile WiMax

Konkurenční platformou vůči LTE je standard Mobile WiMax, který byl přijat do rodiny standardů IMT-2000 pro sítě 4. generace. Mobile WiMax využívá obdobných principů, které jsou aplikovány u LTE – tedy OFDM a technologii MIMO. Jeho nevýhodou je využití vyšších frekvenčních pásem a zejména nekompatibilita s UMTS a GSM.

6.1.3 Srovnání technologií

Obě majoritní technologie a adepti pro získání trhu se sítěmi 4G mají své výhody. Očekává se, že sítě LTE budou nasazovány u poskytovatelů, kteří mají vybudovány sítě GSM, či UMTS. Výhodou je především plná spolupráce s těmito standardy, využití stávajících pásem, podpora roamingu mezi platformami rodiny GSM. Vyšší frekvence v případě Mobile WiMax znemožňují efektivní pokrývání. Srovnání technologií je uvedeno v tabulce 6.1.

**TABULKA 6.1 SROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ LTE, MOBILE WIMAX
ZPRACOVÁNO DLE STANDARDŮ DOSTUNÝCH NA 3GPP.ORG A (12)**

	LTE	Mobile WiMax	Srovnání
Využívané frekvence [MHz]	Stejná jako GSM/UMTS 850, 900, 1800, 1900, 2100, ...	2300, 2500, 3500, 5800	Jednodušší možnosti pokrytí v případě LTE. Poskytuje možnost nízkých i vysokých frekvencí. Výstavba v případě WiMax bude velmi nákladná.
Šířka pásma	1 – 20 MHz dynamická	1 – 28 MHz dynamická	V případě obou technologií je šířka pásma dostačující a umožňuje výrazné navýšení přenosových rychlostí.
Mód duplexity	TDD, FDD - preferováno	TDD – preferováno, FDD	TDD je vhodnější pro datové spojení, na druhou stranu potřebuje časovou synchronizaci.

Metoda vícenásobného přístupu	Download: OFDMA Upload: SC-FDMA	OFDMA	LTE má výhodu v případě uploadu, která se projeví v přenosové rychlosti.
Modulace	Dynamická až 64QAM	Dynamická až 64QAM	Oba systémy přidělují modulaci na základě kvality rádiového signálu.
Architektura	Plochá	plochá	Oproti předchozím generacím se významně snižuje počet mezistupňů.
MIMO	2x2, 4x4	2x2, 4x4	
Maximální přenosová rychlost	Download: 160 Mb/s Upload: 50 Mb/s při LTE R8 FDD a šířce pásma 2 x 20 MHz	Download: 80 Mb/s Upload: 16 Mb/s při TDD a šířce pásma 20 MHz	Vzhledem k šířce pásma jsou teoretické přenosové rychlosti obdobné ve zpětném směru. U dopředného směru hraje roli využití SF-FDMA metody přístupu.
Latence	10 ms	30 ms	Nižší latence je pro LTE jednoznačnou výhodou.

6.2 Budoucnost sítí 4. generace

Sítě 4. generace dle standardu IMT, tedy LTE Advanced a Mobile WiMax 2, se začnou objevovat na komerčním trhu během roku 2015. K jejich výstavbě v rámci České republiky může dojít někdy po roce 2020. Výraznější oblibu však zaznamenají sítě, kterou jsou jako 4G označovány ne zcela správně. Jimi jsou LTE a Mobile WiMax. LTE se začíná komerčně spouštět v mnoha zemích a během následujících let se očekává masivní nástup této technologie. Prozatím trh naznačuje preference vůči této technologii. Z požadavků standardu pro 4. generace mobilních sítí, je však zřetelné, že v blízké budoucnosti je možné očekávat služby, které budou na úrovni dnešních fixních služeb. V mobilním terminálu na cestě do práce, bude možné přenášet data v řádech stovek Mb/s. Bude tím umožněna například integrace multimediálních funkcí do rychlovlaků, autobusů. Je pravděpodobné, že služby pro navigování budou získávat data vzdáleně, rádio nahradí streamovaná hudba a video přes All-IP mobilní sítě.

7. Potíže při implementaci nových technologií do stávající infrastruktury

V předchozích částech práce byly charakterizovány a dostatečně osvětleny jednotlivé principy mobilních telekomunikačních systémů. Z pohledu uživatele je logické, že preferuje mít k dispozici veškeré funkce a vymoženosti světa mobilních sítí. Charakteristika systémů je však pouze jednou stranou mince při volbě poskytovatele, jakou technologii a funkce implementuje. Při rozhodování kam vloží společnost své investice, vychází ze svých finančních možností, požadavků trhu, technických omezení a například právního rámce, který je na území implementace nastaven. Je tedy důležité najít ten správný průsečík, který umožní společností vytvářet zisk a zároveň nabídnout takové služby, se kterými budou zákazníci spokojeni. Z tohoto důvodu budou následující strany věnovány těmto aspektům budování mobilních sítí.

7.1 Technologická omezení

Vybudování sítě, případně implementace nových funkcionalit jsou náročné činnosti. Implementace jedné funkce má většinou vliv na okolní systémy. Tyto vzájemné vazby tvoří funkční celek. Jakákoli změna jej může vyvést z harmonie a mít dalekosáhlé následky. Proto před schválením investice musí být provedena důkladná analýza, která zabrání případným budoucím obtížím. Součástí analýzy jsou například podněty z marketingu ohledně očekávaného počtu uživatelů systému. Na základě údajů se modeluje systém a určují marketingově významné lokality pro implementaci. Tam, kde je očekáván největší počet zákazníků, směřují investice jako první.

Dalšími omezujícími technologickými faktory jsou:

- počty dostupných frekvencí
- členitost terénu
- rušení jinými zdroji vysílání
- stavební omezení
- kapacita přenosových cest

Na plánování rozdělení frekvencí, stejně jako na umístění vysílače dle vlastností terénu, existují sofistikované nástroje, které nám plánování usnadňují. Rušení a záležitosti spojené s kvalitou příjmu signálu můžeme doladit za pomoci měřících technologií, které dokáží monitorovat síť a dodávat údaje pro vhodnou optimalizaci sítě. Síť se mohou

optimalizovat pomocí hardwarových a softwarových úprav. V některých případech postačí malá změna frekvence, natočení směrové antény, v jiných případně změna vysílacího výkonu. Parametrů, které se mohou měnit, je spousta a závisí na používané technologii. Dalším výše jmenovaným omezujícím faktorem jsou stavební omezení. Pro zajištění vyšší robustnosti stanice, vytvoření záložních systému pro případ výpadku elektrické energie je důležitá velikost technologických prostor. Na střeších také není vhodné umísťovat několik desítek směrových antén. Zde je řešením využití vícepásmových anténních systémů. Technologie mají hmotnost stovky kilogramů, kvalita budovy a její původní účel jsou proto důležitým parametrem pro určení nosnosti budovy. Na všechna tato omezení je nutno myslet při samotné výstavbě stanice a jejich opomenutí v rámci výstavby, znamená zdržení projektů. Všechny zmíněné faktory se týkají koncové stanice a přímo kvality dostupného rádiového signálu.

Častým problémem, zejména při budování sítí 3. generace, je kapacita přenosové sítě. Tuto skutečnost můžeme predikovat dopředu na základě analýz očekávaného provozu. Takovéto údaje však velice často neodpovídají skutečnému stavu. V období, kdy mobilní telekomunikace poskytovaly zejména hlasové služby, stačila malá kapacita pomocí mikrovlnného spoje. Dnes jsou však nároky významně vyšší a kapacita přenosových cest je omezujícím faktorem pro poskytování rychlého datového přenosu. Omezení začíná již směrem od koncového bodu na poslední přenosové cestě. Na tomto místě je nasnadě několik možných variant řešení. Nejlevnějším je změna modulace. Tímto se zvýší chybovost, nicméně rezervy jsou natolik dostatečné, že tato varianta umožní plnohodnotné využití služby v dané lokalitě. V případě, že změna modulace nezaručuje kvalitní poskytování služby, dochází k hardwarové výměně mikrovlnných parabol za ty s větším poloměrem, které umožní kvalitnější a zejména spolehlivější přenos. V dnešních sítích dochází k těmto změnám často. Zákazníci je nejsou schopni ani registrovat. Většina těchto činností probíhá v nočních, či brzkých ranních hodinách. Na základě řešení těchto kapacitních problémů na koncových lokalitách, však dochází k postupnému zatěžování páteřních přenosových systémů.

Páteřní přenosové systémy jsou jedním z nejpalčivějších problémů při implementacích. Se zvyšujícími se požadavky na datový provoz, je nutné efektivně řídit jejich provoz. Standardně jsou tyto sítě tvořeny kruhovou topologií a je takto zajištěna

redundance. S narůstajícím provozem však dochází k přetížení cest, které se ze začátku projeví v omezení zálohovosti systému. Při výpadku cesty bude zálohován prioritní provoz. Některé služby mohou být omezeny, případně nemusí mít zálohu žádnou. Tento postup je dlouhodobě neudržitelný a musí tedy dojít také k navýšení kapacit těchto systémů. Vzhledem k tomu, že páteřní přenosové systémy jsou řešeny pomocí optických tras, případně vysokokapacitních mikrovlnných tras, tak se náklady pohybují v daleko vyšších částkách a je proto výrazně složitější prosadit vyhrazení prostředků na tyto změny.

Technologických omezení je celá řada a mohou mít úzkou souvislost s implementací třeba jediného mobilního systému do stávajících struktur společnosti. Kromě výše zmíněných se tato omezení dotýkají také IP prvků sítě, tedy routerů, switchů, firewallů a dalších aktivních prvků. Síť vyžadují zajištění účtování zákazníků, podpory předplacených služeb, či přidání podpůrných funkcí. Veškeré záležitosti znamenají významné investice, které si koncový uživatel neuvědomí. Jsou však významnou bariérou při plánování investic a to zejména z důvodu finanční náročnosti, o které budou následující odstavce.

7.2 Ekonomické aspekty

Z předchozích odstavců je zřejmé, že technologické obtíže při implementacích nových sítí znamenají významné finanční náklady pro společnost. Samotná cena technologie pro nově budovanou síť je pouze zlomkem celkových nákladů. Z tohoto důvodu musí poskytovatelé pozorně sledovat požadavky trhu a ideálně nastavit investice vzhledem k dostatečné spokojenosti zákazníků. Pro stanovení spokojenosti zákazníků je velmi často využíváno různých indexů. Jedním z používaných v České republice je CSI index⁸ společnosti EPSI Rating, který se pro mobilní telekomunikace sestavuje z pěti různých parametrů, kterými jsou: image společnosti, budoucí očekávání, kvalita služeb, kvalita produktů a poměr nabízené hodnoty za peníze. Pokud marketingové analýzy identifikují potřebu inovace technologie, iniciuje oddělení marketingu plány k implementaci nových služeb. Investiční rozhodování, obzvláště týkající se změny technologie, je jednou z nejdůležitějších úloh vrcholného managementu telekomunikačních

⁸ CSI index (Customer Satisfaction Index) – index zákaznické spokojenosti sestavovaný společností EPSI Rating v mnoha zemích Evropy. Nezkoumá pouze trh telekomunikací, ale také například bankovníctví.

společností. Jedná se o strategické a finančně náročné projekty, kde musí být jednoznačně podložena jejich důležitost a výhodnost pro společnost. Nevhodné rozhodnutí v této oblasti je nevratné a může vést až k úpadku společnosti. Důvodem je zejména finanční náročnost projektů. V následujícím přehledu budou uvedeny a charakterizovány hlavní náklady spojené s implementací a následnou údržbou systému.

Náklady na implementaci technologie:

- *nákup technologie* - Mezi náklady na nákup je řazeno pořízení hardwarového vybavení, náklady na rozšířenou podporu se strany dodavatele (maintenance contract). Dnes je běžné, že možnosti hardwaru, případně kapacity systému jsou přidělovány výrobcem na základě licencí. Můžeme zde tedy zařadit náklady na nákup licencí.
- *výstavba sítě* - Po nákupu veškerých potřebných záležitostí dochází k výstavbě sítě, která je nedílnou součástí investičních nákladů.
- *zvýšení kapacity přenosových cest a náklady spojené s nutností optimalizace stávajících technologických struktur*
- *licenční náklady* – Jedná se o licenční náklady spojené se vstupem na trh, tedy nákupem frekvenčního pásma a udělení licence pro provozování telekomunikační sítě prostřednictvím ČTÚ.
- *optimalizace organizační struktury společnosti* – Ve většině případů vyžaduje výstavba nové sítě nutnost navýšení počtu pracovních sil na straně poskytovatele, případně optimalizace v rámci stávající struktury.
- *školení pracovníků* – Implementace nové technologie vyžaduje zvýšené náklady v souvislosti se zaškolením pracovníků. Základní školení bývají součástí kontraktu s dodavatelem technologie. Nicméně nepokrývají potřebu zaučení všech zainteresovaných pracovníků společnosti.

Provozní náklady:

- pronájmy lokalit
- údržba a oprava systémů
- mzdy pracovníků

Pro definitivní rozhodnutí o investování je důležitý parametr doby návratnosti investic a také předpokládaný vývoj příjmů na jednotku zákazníka (ARPU), případně jiné parametry, na základě nichž se rozhoduje. Důležité je uvědomit si, že po výstavbě nové sítě, která je kompatibilní s většinou vyráběných terminálů, dojde k výraznému útlumu provozu na stávající technologii a přesunu zákazníků na novou technologii. Zároveň si poskytovatel nemůže dovolit stávající síť deaktivovat, neboť velká část účastníků nedisponuje terminálem kompatibilním s novým systémem. Způsobuje to zvýšené provozní náklady, které jsou dlouhodobě nežádoucí. Řešením je sledování vytiženosti obou sítí a postupné snižování kapacity, tak aby se postupně snižovaly náklady. Důležité je optimalizovat strukturu sítí tak abych se maximalizoval ukazatel rentability nákladů, který vyjadřuje, jaký zisk společnost dosahuje z jednotky nákladů.

7.3 Konkurenční prostředí

Silná konkurence dokáže rozhybat trh s mobilními službami natolik, že i přes finanční náročnost, dochází k masovým implementacím nových sítí. Vztah konkurence a investování je zcela zřetelný na českém trhu, kde poskytovatelé čekají na kroky konkurence. Ačkoli je prostředí v České republice označováno samotnými poskytovateli jako vysoce konkurenční, jedná se ve skutečnosti o oligopol. Z definice oligopolu vyplývá, že existuje pouze velmi málo hráčů na trhu v daném odvětví a je znemožněn, případně velice ztížen, příchod nového subjektu do oblasti. Pro charakterizaci českého trhu s mobilními telekomunikačními službami lze říci, že zde existují 3 velmi silní hráči, kteří si prakticky rozdělili trh na třetiny. Znemožnění přístupu nového subjektu na český trh je vytvořeno již z principu přidělování frekvenčních pásem pro tuto oblast. Jediným uznávaným standardem pro mobilní komunikaci v ČR jsou standardy GSM rodiny, kde jsou již frekvence alokovány. Pokud by chtěl nový subjekt vstoupit na trh, je pravděpodobné, že tak učiní v rámci jiných frekvencí a pod jiným typem sítě. Touto cestou šla společnost Penta, která zprovoznila pomocí technologie CDMA operátora Ufon. Vzhledem ke specifickým frekvencím, nedostatku zkušeností, neexistenci vhodných terminálů však na trhu neuspěl. Dokladem toho je prodej operátora do rukou společnosti Dial Telecom na počátku roku 2011.

Oligopol však zcela nebrání konkurenci v odvětví. Snaha o zvýšení tržního podílu vede také v rámci oligopolu ke krokům, které umožní budovat nové sítě, případně snižovat

ceny. Taktika drastického snížení cen vede k cenové válce, která nemá vítěze. Všichni poskytovatelé jsou natolik silní, že jsou schopni se války zúčastnit a dovést tak společnost na pokraj bankrotu. Těchto událostí jsme svědky na úrovni telekomunikačního trhu ve Velké Británii a Rakousku. Zde konkurenční boj způsobil výrazné snížení ziskovosti odvětví. Poskytovatelé prozatím šetří na provozních nákladech, kdy například dochází ke snížení kvality sítě. Proto je možné a žádoucí směřovat vzájemný konkurenční boj v oligopolu do oblasti investic. Zde je možné získat nové zákazníky kvalitou a udržet stávající cenovou hladinu, případně ji lehce navýšit. Konkurence tedy může omezovat, ale také podněcovat investice do výstavby nových sítí.

7.4 Zákonné požadavky, politický vliv a jiná omezení

Kromě základních technologických, finančních a konkurenčních omezení pro implementaci nových sítí existuje řada bariér, které znesnadňují poskytovatelům obstat na trhu. Příkladem jsou nařízení evropské komise ohledně roamingu a datových služeb. Je otázkou zdali postup, který volí EU, je zcela správný. Dle mého názoru je vměšování do pravidel volného trhu takovýmto způsobem zbytečné a ve skutečnosti trh zpomaluje a způsobuje negativní náladu u akcionářů telekomunikačních společností. Je pochopitelné, že dohled nad trhem telekomunikací je nezbytný. Telekomunikace jsou dnes stěžejní oblastí, jenž využívá drtivá většina světové populace. Může to vést k situaci, kdy poskytovatelé tohoto postavení zneužívají. Marže poskytovatelů v ČR se pohybují okolo 50%, což je výrazně nad úrovní trhu, což může vést k oprávněnému názoru na omezení ze strany EU. Legislativní opatření a dohled by však měl být prováděn pouze s minimem nutných zásahů tak, aby pouze kontroloval chování subjektů na trhu a jejich případné zneužívání dominantního postavení.

Obrovskou brzdou pro novou výstavbu bývá také licenční politika států při prodeji volných frekvencí. V případě licencí na systémy UMTS nastala situace, kdy přemrštěné ceny licencí způsobily nedostatek volných zdrojů pro samotnou výstavbu. V celé Evropě se tak budování zdrželo o několik let.

Z důvodu strategičnosti odvětví jsou v některých státech zvýšená rizika na znárodnění společností. I toto je jeden z důvodů, kdy je u těchto poskytovatelů vidět zvýšená neochota pro investování do budování nové infrastruktury. Příkladů, které brání,

případně různými způsoby vytvářejí překážku pro výstavbu, by mohlo být vyjmenováno spousta. V předchozích odstavcích byly shrnuty ty hlavní a nejvíce zatěžující odvětví. I přesto je však trh dynamický a neustále vyvíjí nové technologie, které se budou postupně implementovat. Je důležité však nahlížet na telekomunikační trh ne jen z úhlu uživatele, ale také si uvědomit rizika ze strany poskytovatelů.

8. Aktuální situace a očekávaný vývoj komunikačních technologií v ČR a ve světě

Trh mobilních systémů je dynamický a neustále přicházející s novými možnostmi. V rámci celé práce byly prezentovány základní a nejvíce zastoupené technologie na trhu. Existuje spousta odlišných technologií určených pro vojenské, železniční a jiné účely. Jejich podíl na masovém trhu je však minimální. Následující text ukáže svět mobilních systémů ve světle statistických dat, pokusí se vyhodnotit aktuální, a provést predikci následného vývoje.

8.1 Integrace a konvergence telekomunikačních služeb

V minulosti existovaly vize, kdy trh mobilních telekomunikací převálcuje trh fixních telekomunikací a ty postupně zaniknou. S rozvojem obou těchto přístupů a jejich stabilizací se dospělo k závěru, že jeden trh se bez druhého neobejde. Po celém světě tak existuje snaha k integraci mobilních a fixních operátorů. Vznikají tímto jednotní integrovaní operátoři, a to buďto pomocí spojování existujících, silně oddělených úseků, případně nákupem menších společností.

První příklad reprezentuje fúze z roku 2010, kdy se sesterské společnosti mobilní T-Mobile International AG a fixní Deutsche Telekom AG spojily do jedné společnosti. Následně došlo také ke sjednocení managementu společnosti a procesů na německém trhu, kde fixní část operoval T-Home a mobilní T-Mobile Deutschland. Nyní společnosti působí pod názvem Telekom. Na českém trhu se obdobná situace dělá v rámci rebrandingu⁹ na O2, kdy španělský majitel Telefónica O2 sjednotil fixní Český Telecom s jeho mobilní dcerou Eurotel. Řešení konsolidace fixního a mobilního světa pomocí nákupu předvedla při vstupu na integrovaný trh společnost T-Mobile Czech Republic a.s., která koupila divizi fixních služeb společnosti České Radiokomunikace a.s. v roce 2009. Tyto případy jsou pouhým zlomkem globálního směřování telekomunikačního trhu v současnosti.

Důvodem pro integrování fixních a mobilních služeb je, že oddělené trhy nemohou zákazníkům nabídnout kompletní portfolio služeb, které uspokojí jejich potřeby a nemohou

⁹ Rebranding - proces změny obchodní značky na novou. Příkladem je změna ustálené obchodní značky na trhu na novou (Eurotel na O2, Oskar na Vodafone). Změna neznamená pouze změnu názvu, nicméně také změnu komunikace vůči zákazníkovi, korporátního stylu a další.

tak konkurovat na globálním trhu. Hlasové služby v segmentu firem jsou kompletně řešitelné pomocí mobilních služeb, kdy je možné zřídit přímý přístup do lokality a virtuální pobočkovou ústřednu. Nicméně na poli datových služeb je mobilní připojení nedostačující a to díky několika faktorům, mezi něž patří:

- vysoká latence
- nízká přenosová rychlost
- nemožnost garance rychlosti přenosu
- stabilita spojení

Na druhou stranu je u spotřebitelů žádána mobilita datových služeb. Kombinací obou přístupů je možné uspokojit potřeby zákazníka a zaměřit se na nabídku komplexních produktů od hlasových služeb, přes datové, ICT až po služby s přidanou hodnotou. Poskytovatel je tak schopen nabídnout konvergované služby datových a telekomunikačních sítí.

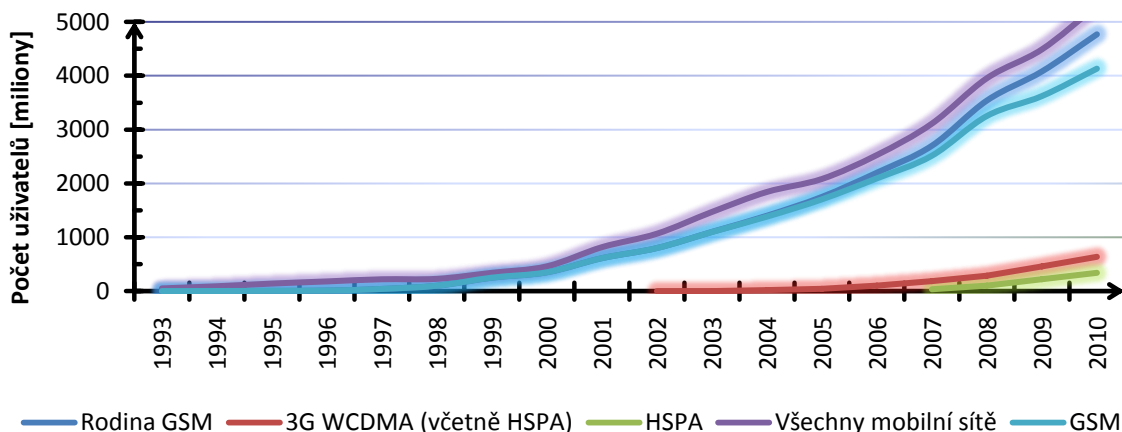
V residenčním segmentu je integrovaný operátor schopen poskytovat služby TriplePlay, které v sobě integrují hlasové, datové a televizní služby. V kombinaci s mobilně fixním přístupem dokáže nabídnout využívání služeb kdekoli a kdykoli. Teoreticky je schopen dosáhnout této možnosti i plně mobilními přístupy, nicméně s daleko horším poměrem výkon/cena. Tato řešení nejsou v praxi preferována.

8.2 Statistiky užívání mobilních komunikací

Mohutnost trhu s mobilními telekomunikacemi a vývoj využívání služeb lze vyčíst ze statistik poskytovatelů a výrobců zařízení. Jako základ pro zpracování statistik jsou využity zdroje skupiny Deutsche Telekom AD a veřejné zdroje jiných poskytovatelů. Dalšími vstupy do statistik jsou zdroje asociace GSA, která sdružuje dodavatele mobilních telekomunikačních systémů.

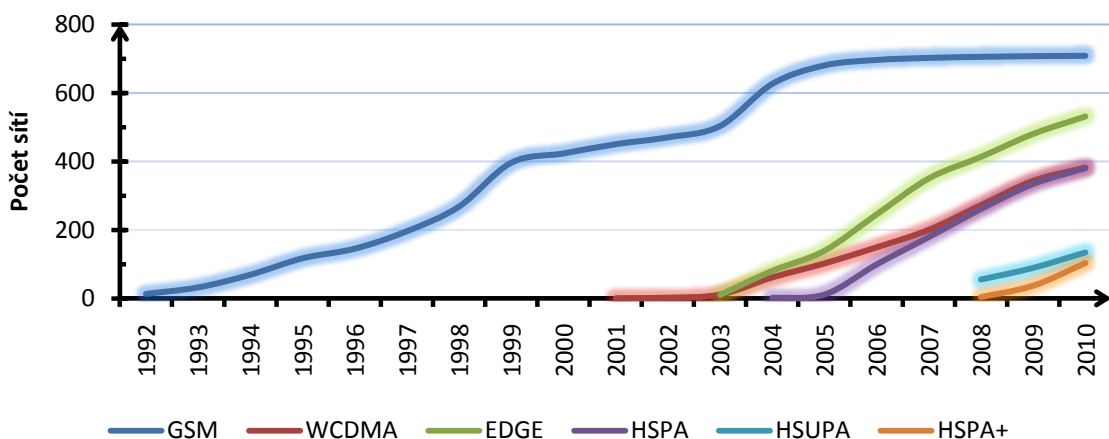
K sítím rodiny GSM, to znamená sítím GSM a WCDMA je k březnu 2011 připojeno necelých 5 miliard uživatelů, z toho 700 miliónů využívá služeb sítí 3. generace WCDMA. Vývoj počtu uživatelů lze vysledovat v následujícím grafu. Rodina GSM platforem zaujímá na trhu majoritní podíl okolo 90%. Z grafu lze dále vysledovat exponenciální vývoj v počtu účastníků sítí. Vyčíst lze také nástup nových 3G technologií,

kteřé vřak na trhu zaujímají relativně nízké procento uživatelů. Zpomalení růstu je viditelné u sítí GSM, kde je trh již nasycen.



GRAF 8.1 POČET ÚČASTNÍKŮ MOBILNÍCH SÍTÍ
ZPRACOVÁNO DLE (5), (19)

Počty komerčně spuřtřených sítí rodiny GSM znázorňuje Graf 8.2. Výstavba sítí GSM byla markantní v letech 1992 – 2004. V následujících letech dochází ke stagnaci ve výstavbě sítí 2. generace GSM a je spuřtřeno pouze několik nových sítí. Hlavní úlohu ve výstavbě po roce 2003 přebírají sítě UMTS, kdy lze prozatím sledovat lineární růstový trend. Graf také znázorňuje implementace jednotlivých UMTS revizí. Technologie HSDPA je postupně zprovozněna ve většině UMTS sítí a v roce 2010 se počet sítí WCDMA a UMTS v podstatě rovná. Od roku 2008 je zřetelný nárůst počtu sítí využívajících technologie HSUPA a HSPA+.

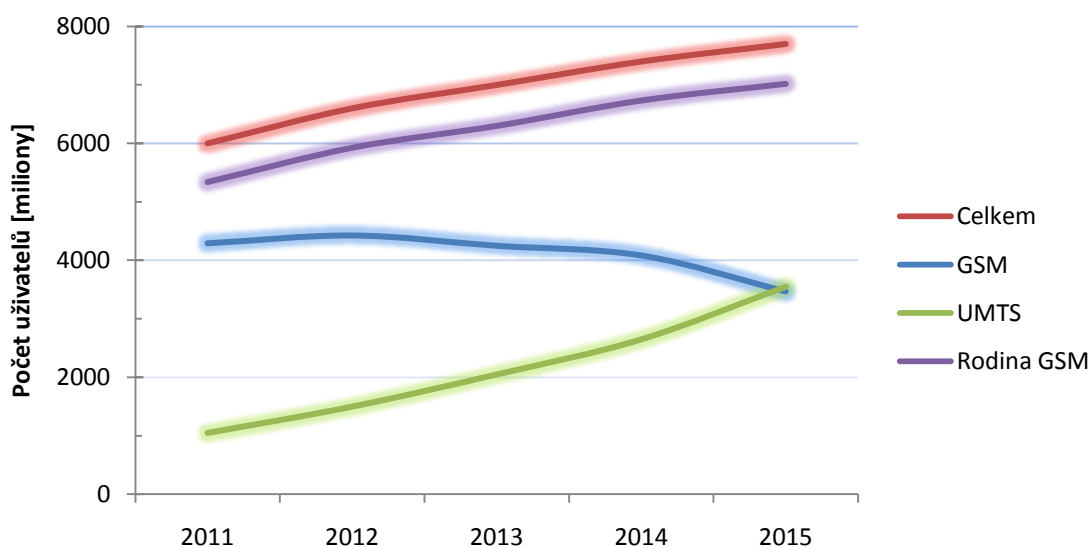


GRAF 8.2 POČET MOBILNÍCH SÍTÍ DLE TECHNOLOGIÍ
ZPRACOVÁNO DLE (5), (19)

8.3 Analýzy vývoje trhu

Z předchozích grafů jsou zřetelné jednotlivé trendy v oblasti využívání současných sítí. Ze současné situace je možno odvodit pravděpodobné chování celosvětového trhu v příštích letech. Trh s mobilními technologiemi je téměř nasycen a počet aktivních uživatelů atakuje celkový počet obyvatel Země. Vzhledem k vysoké míře penetrace bude docházet k přelévání účastníku mezi sítěmi. Celkový počet uživatelů však bude stále významně růst. Důvodem pro tento trend je zejména aktivita účastníka ve více sítích najednou. S výstavbou sítě UMTS zůstává zákazník stále účastníkem GSM sítě. Z pohledu celkové statistiky je započítán 2krát. Očekávaný počet uživatelů sítě rodiny GSM je v roce 2015 přes 7 miliard.

Počet GSM sítí již dosáhl svého maxima a během následujících let bude docházet ke stagnaci a pozvolnému poklesu počtu mobilních sítí. Tento pokles se prozatím neprojeví v počtu GSM uživatelů. Ti budou stále přibývat v důsledku růstu v méně vyspělých zemích. Trend se otočí v situaci, kdy bude docházet k mohutnějšímu vypínání GSM sítí, které se očekává nejdříve po roce 2015, kdy mají sítě UMTS převzít vedoucí úlohu na poli mobilních telekomunikačních systémů. Odhadovaný směr vývoje je zobrazen na grafu 8.3.



GRAF 8.3 VÝVOJ POČTU UŽIVATELŮ V NÁSLEDUJÍCÍCH LETECH
ZPRACOVÁNO DLE (5), (19)

UMTS se po roce 2015 stane nejvyžívanějším systémem pro mobilní komunikaci. Většina sítí přejde na technologii HSPA+ a bude postupně implementovat nejvyšší standardy. Síť GSM budou plnit prozatím roli kapacitní, jejich význam bude nadále klesat. V následujících letech bude docházet také k pozvolnému trendu implementace sítí 4. Generace. Zde ještě situace okolo technologií není jasná. Vzhledem ke zpětné kompatibilitě lze očekávat především ukotvení technologie LTE jako nejvíce využívané. Mobile WiMax bude využíván zejména u poskytovatelů, kteří nemají volné frekvence a nejsou zakotveni na trhu. V souvislosti s vývojem byly také oznámeny první terminály kombinující možnost připojení pomocí LTE a Mobile WiMax. Masivní rozvoj sítí 4. Generace a jejich nasazování se očekává až po roce 2020.

8.4 Situace v České republice

Poskytovatelé mobilních telekomunikačních služeb na území České republiky budou následovat světový trend, který bude o několik let opožděn. Během následujících dvou let dojde k pokrytí území sítěmi UMTS. Očekává se nasazení technologie HSPA+ u zbývajících dvou mobilních operátorů a postupné přípravy na příchod 4. generace. Budování těchto sítí lze však očekávat až po při rozumné míře návratnosti investice do UMTS sítí. Optimistický předpoklad prvních implementací se očekává před rokem 2020. Do té doby však výkony UMTS sítí budou plně dostačovat. V případě nedostatku bude možné rozšířit šířku pásma pro UMTS a dosáhnout tak rychlostí až 84 Mb/s. Vzhledem k vysoké saturaci místního trhu nebude docházet k výraznému zvyšování zákaznické báze.

Sítě mimo rodinu GSM budou na ústupu. V následujících letech se očekává vypnutí sítí CDMA společnosti O2 a UMTS TDD společnosti T-Mobile. Důvodem je zvýšená dostupnost sítí UMTS standardu FDD, které nabídnou obdobné možnosti jako vypínané sítě. Síť UFON standardu CDMA2000 společnosti Mobilkom bude stagnovat, jak co se týče technologického rozvoje, tak počtu zákazníků. Důvodem je zejména využití nestandardní frekvence a nedostupnost konkurenceschopných terminálů. Po koupi tohoto poskytovatele společností Dial Telekom dojde pravděpodobně ke konsolidaci nabídky fixních služeb pomocí optického připojení a mobilních služeb, které budou pouze doplňkovou službou.

Zaměření na konsolidaci fixních a mobilních služeb bude sílit u všech poskytovatelů na trhu. Je velmi pravděpodobné, že poskytovatelé se stanou integrovanými operátory a jejich nabídka bude spíše komplexní s menším zaměřením na čistě mobilní služby. Pravděpodobné je také sílení zaměření na poskytování ICT služeb a ostatních služeb s přidanou hodnotou, kde nasycenost trhu ještě není zdaleka taková jako v případě koncových rezidenčních zákazníků.

9. Závěr

Práce si kladla za cíl porovnat stávající a nově přicházející mobilní telekomunikační technologie. Na základě provedeného srovnání je zřetelné, že vývoj systémů se ubírá směrem k „All-IP“ sítím, které jsou méně nákladné a vyžadují nižší míru údržby. Hlasové služby u všech generací zůstávají na podobné úrovni a jsou zde pouze malé odchylky, například ve využití kvalitnějšího kodeku, případně ve snížení doby nutné pro spojení účastníků. Nové generace sítí se zaměřují zejména na zvýšení přenosových rychlostí, snížení latence a poskytnutí stability v oblasti datových přenosů. Toho dosahují například nasazováním vícecestavových modulací v podobě 64QAM, využíváním nových metod náhodného přístupu, kde v rámci LTE je využívána technologie OFDMA. Výrazným příspěvkem ke zrychlení systému je přesunutí velké části činností blíže k uživateli tím, že část logiky přebírá základnová stanice. Architektura nově budovaných systémů se stává plochá, je zde snaha o snížení počtu částí systémů.

V současné době jsou nejvíce rozšířeny sítě 2. generace GSM s implementací vylepšeného datového přenosu pomocí technologie EDGE umožňující datové přenosy rychlostí až 238 kb/s. Tyto sítě jsou nasazeny v drtivé většině zemí a na většině jejich území. Intenzivní je v posledních letech implementování technologií 3. generace UMTS FDD, které jsou dostupné na velké části trhů a počet jejich uživatelů pomalu atakuje počty uživatelů sítě GSM. Pokrytí území těmito sítěmi prozatím nedosahuje kvalit GSM. Obrat je očekáván v roce 2015, kdy sítě standardu WCDMA překonají sítě GSM ve všech ohledech a zaujmou přední místo na trhu s mobilními systémy. V následujících letech je očekáváno rozšíření počtu UMTS sítí ve variantě HSPA+ a tím umožnění uživatelům přenášení dat rychlostí až 84 Mb/s. Tím se odloží nutnost implementací sítí 4. generace, které se budou prosazovat v nejbližších letech pozvolna a pouze na vysoce konkurenčních trzích. Vzhledem k dostatečnému potenciálu sítí UMTS není příliš nutné prozatím investovat do technologií LTE, případně Mobile WiMax. Rozmach těchto sítí se očekává až po roce 2020. Nabídnou rychlosti v řádech stovek Mb/s a možnosti pro využití zcela nových způsobů komunikace.

Dílním cílem práce bylo vymezit omezující podmínky pro implementace nových technologií. Pro společnosti působící na trhu mobilních komunikací je velmi náročné budovat nové sítě, ačkoli očekávání zákazníků jsou vysoká. Poskytovatelům v tom brání

řada aspektů, mezi nimiž jsou zejména technologická, finanční, politická a jiná omezení. Jedním z nejdůležitějších omezení je zejména finanční náročnost těchto projektů. Náklady vložené do investice musí být rentabilní a síť musí vytvořit takové tržby a zisky, aby se její implementace vyplatila. Důležitým faktorem je také vymezení se vůči konkurenci na trhu a případně udržení tržního podílu. Mezi další významné omezení patří kupříkladu omezený frekvenční příděl, cena licencí, ale také politika EU, která zásadně nabourává volné fungování trhu. Narušením volného trhu jsou také oligopoly v oblasti mobilních komunikací ve většině ekonomik, které brzdí vývoj a v mnoha zemích je tak výstavba nových sítí zpožděna v řádu let. Jedním z těchto případů je také Česká republika.

V České republice je trh rozdělen mezi 3 hráče, kteří, co se týče stavu sítě a investic do nových technologií, jsou průměrní vzhledem ke stavu ve světě. Poskytovatelé v ČR mají implementovány technologie GSM v posledních revizích a v současnosti budují síť 3. generací UMTS FDD, v případě T-Mobile také UMTS TDD. V roce 2010 a 2011 je zaznamenána zvýšená investiční aktivita do rozšíření sítí UMTS, které ke konci roku 2011 budou pokrývat zhruba 60% obyvatel České republiky. V horizontu nejbližších let není očekávána investice do sítí 4. generace, je však pravděpodobná implementace HSPA+ u všech poskytovatelů na českém trhu. V roce 2011 tuto technologii komerčně spustil T-Mobile, který tak nabízí nejrychlejší doposud dostupnou technologii UMTS.

Vývoj v oblasti mobilních telekomunikačních systémů bude i nadále směřovat ke zvýšení přenosových rychlostí. Nové generace nám nabídnou také kvalitu hlasových služeb na úrovni CD kvality. V následujících desetiletích budou mobilní komunikace dostupné všude kolem nás a budou nabízet efektivní spojení s fixní konektivitou. Budoucnost All-IP sítí umožní poskytovatelům snížení operativních nákladů a tím zvýšení množství prostředků pro vyčleněné investice. Pro poskytovatele je však zlatá doba mobilních sítí minulostí. V příštích letech se předpokládá pokles příjmů poskytovatelů a především snížení marží ze současných 50% na tržně obvyklou hodnotu. I přesto bude vývoj v této oblasti stále dynamický a bude nabízet spousty nových možností.

10. Seznam použitých zdrojů

1. **Peterson, A.C.** *Vehicle Radiotelephony Becomes a Bell System Practice*. s.l. : Bell Laboratories Record, 1947.
2. **Doc. Ing. Hanus, Stanislav CSc.** *Bezdrátové a mobilní komunikace*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2003. 80–214–1833–8.
3. **Nicopolitidis, P.** *Wireless Networks*. s.l. : John Wiley and Sons, 2003. ISBN 0470 845295.
4. **Němeček, Ivo.** Architektury a technologie v moderních optických DWDM sítích. *NetGuru*. [Online] Avferia Ltd., 24. srpen 2009. <http://www.netguru.cz/odborne-clanky/architektury-a-technologie-v-modernich-optickych-dwdm-sitich-12.html>.
5. **GSA - The Global mobile Suppliers Association.** GSA - The Global mobile Suppliers Association. <http://www.gsacom.com>. [Online] GSA - The Global mobile Suppliers Association, 1 12, 2011. [Citace: 1 22, 2011.] <http://www.gsacom.com/statistics>.
6. **Hillebrand, Friedhelm.** *GSM and UMTS - The Creation of Global Mobile Communication*. West Sussex : John Wiley & Sons, Ltd., 2002. 0/470/84322/5.
7. **Bílý, Vladimír.** Frekvenční přiděl na pásmech GSM, DCS a UMTS v ČR. *GSMweb.cz*. [Online] 2010. [Citace: 23. 1 2011.] <http://www.gsmweb.cz/clanky/freq2.htm>.
8. **Nokia Networks Oy.** *GSM Architecture - Trainig Document*. s.l. : Nokia, 2002.
9. **Richtr, Tomáš.** *Mobilní komunikace*. [Online] 2002. <http://tomas.richtr.cz/mobil/>.
10. **Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero.** *GSM, GPRS and edge performance: evolution towards 3G/UMTS*. s.l. : John Wiley And Sons Ltd., 2003. 9780470866948.
11. **Nokia Siemens Networks.** *PLMN - MSC Server and Multimedia Gateway Operation and Integration*. s.l. : Nokia Siemens Networks, 2009. CN6000EN33GLN00.
12. **Dr. Ing. Ball, Carten.** *LTE and WiMax Technology and Performance Comparison*. [Prezentace] s.l. : Nokia Siemens Networks, 2007.
13. **EventHelix.com.** GSM Call Flow (GSM Originating Call). *EventHelix*. [Online] 2008. [Citace: 27. 1 2011.] <http://www.eventhelix.com/call-flow/gsm-call-setup.zip>.

14. **Bc. Koruc, Jiří.** *PODPORA KVALITATIVNÍCH POŽADAVKŮ SLUŽEB V RÁDIOVÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍCH VYSOKORYCHLOSTNÍCH VARIANT MOBILNÍCH SÍTÍ.* Brno : VUT-Brno, 2009.
15. **The 3rd Generation Partnership Project,** 3GPP - Releases. *3GPP.* [Online] 3GPP, 2001 - 2011. <http://www.3gpp.org/-releases->.
16. **Zikmund, Martin.** Budeme mít lepší pokrytí v budovách? *Mobil.cz.* [Online] Mafra a.s., 14.2.2005. [Citace: 12. 1. 2011] http://mobil.idnes.cz/budeme-mit-lepsi-pokryti-v-budovach-d6t-/mob_tech.asp?c=A050213_133753_mob_tech_eck.
17. **Dr. Ing. Haas, Eric.** Multi-Carrier Transmission Techniques? Dr. Eric Haas. [Online], [Citace: 15. 1. 2011] http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/fdma_tdma_cdma.jpg.
18. **Huawei.** *Huawei GSM Technologies:* Huawei, 2010. <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=117>
19. **4G Americas.** 4G Americas Statistics. <http://www.4gamericas.com>. [Online] 4G Americas, 2001 – 2011. <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=117>

Seznam obrázků

Obrázek 3.1 Architektura mobilní sítě Southwestern Bell	12
Obrázek 3.2 Buňkový systém	15
Obrázek 3.3 Metody vícenásobného přístupu	17
Obrázek 3.4 Princip DWDM zdroj	18
Obrázek 4.1 Tvary SIM karet dle normy ISO 7816	24
Obrázek 4.2 Architektura GSM Zpracováno dle standardů gsm a 3gpp	25
Obrázek 4.4 Nano BTS	26
Obrázek 4.3 Kabinet Huawei BTS3900	26
Obrázek 4.5 Základnová stanice T-Mobile	26
Obrázek 4.6 Architektura GPRS Zpracováno dle standardů gsm a 3gpp.....	33
Obrázek 5.1 Vývoj UMTS	39
Obrázek 5.2 Architektura UMTS Release R4 Zpracováno dle standardů 3gpp.....	43
Obrázek 6.1 Vývoj mobilních sítí a jejich přenosových rychlostí.....	49
Obrázek 6.2 Logo Lte	49

Seznam tabulek

Tabulka 4.1 Charakteristiky sítí gsm	22
Tabulka 4.2 Přidělená frekvenční pásma GSM	23
Tabulka 4.3 Kódovací schémata GPRS	34
Tabulka 4.4 Kódovací schémata Edge.....	35
Tabulka 5.1 UMTS releasy Zpracováno dle standardů 3gpp	39
Tabulka 6.1 Srovnání technologií LTE, Mobile Wimax	50

Seznam grafů

Graf 8.1 Počet účastníků mobilních sítí.....	61
Graf 8.2 Počet mobilních sítí dle technologií	61
Graf 8.3 Vývoj počtu uživatelů v následujících letech.....	62

Příloha 1: Procedura sestavení hovoru účastníka mobilní sítě a pevné sítě PSTN

1. Uživatel mobilní sítě zadá telefonní číslo do fixní sítě a stiskne tlačítko pro zahájení hovoru. Tím se zahájí sekvence příkazů nutná pro sestavení spojení.
2. Informace potřebné k uskutečnění hovoru se potřebují přenést z terminálu do MSC. Pro toto je nutné přiřadit rádiové zdroje RR (*Radio Resource*). První fází hovoru je sestavení RR spojení. Vyžádání těchto zdrojů je spuštěno zasláním Channel request zprávy na kanále RACH (*Random Access Channel*).
3. Terminál nyní čeká na přiřazení RR na AGCH kanále (*Access Grand Channel*).
4. BSS přidělí přenosový kanál TCH (Traffic Channel) pro toto spojení. TCH přiřadí specifikaci frekvence a timeslotu na dané frekvenci. Terminál nyní bude používat pouze tyto přidělené zdroje.
5. O přidělení zdrojů je terminál informován pomocí AGCH kanálu. Zpráva obsahuje informace o přidělených rádiových zdrojích (frekvence, timeslot), časovou a frekvenční korekci.
6. Terminál se naladí na přiřazený TCH.
7. Terminál iniciuje LAPm spojení s BSC pomocí zaslání SABM zprávy (Set Asynchronous Balanced Mode message). Ve zprávě je zaslána také informace o požadované službě.
8. BSS potvrdí sestavení LAPm spojení pomocí UA (Unnumbered Acknowledge).
9. BSS pomocí SCCP požadavku zašle MSC informace o požadované službě (byla obsažena v SABM zprávě).
10. Nastává fáze autentifikace a ověření, zdali má uživatel danou službu povolenu..
11. Od doby autentifikace MSC iniciuje šifrování komunikace.
12. V této době začíná BSS očekávat přijetí šifrovaných dat, samo BSS zatím zasílá data nešifrována.
13. BSS zasílá terminálu informaci o zapnutí šifrování komunikace.
14. Terminál zapíná šifrovanou komunikaci pro oba směry.
15. Terminál zasílá BSS zprávu o zapnutí šifrování na jeho straně.
16. BSS informaci přijme a přepne do šifrovaného módu také na straně odesílání.
17. BSS potvrdí MSC zahájení šifrované komunikace na celé trase.

18. RR spojení je tímto kompletně sestaveno. Tímto je aktivováno přímé spojení mezi terminálem a MSC.
19. Začíná samotná fáze sestavení hovoru. Terminál zašle zprávu k sestavení hovoru Zpráva obsahu číslo volaného a další doplňující informace. Na displeji se objeví informace o zahájení spojování.
20. MSC aktivuje hlasový okruh mezi MSC a BSS a informuje o tom BSS. Hovor se přepne ze signalizačního módu na hlasový.
21. BSS informuje o této změně terminál.
22. Terminál potvrdí přepnutí do hlasového módu.
23. BSS informuje MSC o dokončení přepnutí do hlasového módu..
24. MSC přesměruje hovor do fixní sítě.
25. Ústředna fixní sítě informuje MSC o přijetí požadavku na hovor.
26. U volaného účastníka začíná terminál vyzvánět.
27. MSC informuje terminál, že u volaného je hovor oznamován.
28. Volaný přijme hovor. MSC informuje terminál o přijetí hovoru u volaného.
29. Terminál potvrzuje spojení a zobrazuje se, že hovor byl spojen.
30. Probíhá hovor, uživatel mobilního terminálu stiskne tlačítko pro ukončení hovoru. Tímto se zašle zprávo o ukončení hovoru do MSC.
31. MSC iniciuje uvolnění okruhu na straně PSTN.
32. MSC ukončuje hovor a uvolňuje okruh mezi MSC a BSS a také informuje terminál o uvolňování okruhu.
33. PSTN potvrzuje dokončení uvolňování okruhu.
34. Terminál indikuje, že hovor byl ukončen.
35. MSC uvolňuje radiové zdroje RR
36. BSS informuje terminál o uvolnění rádiových zdrojů a potvrzuje MSC uvolnění RR spojení.
37. Terminál zasílá požadavek na ukončení LAPm spojení.
38. BSS odpovídá pomocí UA a uvolňuje TCH kanál.
39. Displej terminálu se vrací do výchozího stavu.

Pro zpracování bylo využito zdroje (13).