

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informatiky a kvantitativních metod

Analýza datového připojení mobilních zařízení
Pokrytí v rámci ČR
Bakalářská práce

Autor: Michal Dvořáček
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Monika Borkovcová

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 4.5.2015

Michal Dvořáček

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Monice Borkovcové za metodické vedení práce, cenné rady a odborný dohled. Velké poděkování patří i mé rodině za podporu a povzbuzování.

Anotace

Název: Analýza datového připojení mobilních zařízení

Bakalářská práce se zabývá problematikou mobilních sítí a to konkrétně datovými přenosy v těchto sítích. Teoretická část práce se zabývá základními principy mobilní komunikace a vlastní definicí mobilních sítí. Dále se v teoretické části pojednává o samotném vývoji mobilních sítí, s hlavním zaměřením na rychlosti datových přenosů v rámci jednotlivých mobilních generací. Praktická část práce se zabývá pokrytím mobilních sítí v České Republice a to konkrétně pro město Hradec Králové. Úkolem výzkumu v praktické části bylo zjistit skutečné pokrytí hlavních operátorů, oproti uváděnému pokrytí Českým telekomunikačním úřadem. Další částí výzkumu bylo měření rychlostí datových přenosů na určených místech pro oblast výzkumu. Bakalářská práce je zakončena shrnutím výsledků z praktické části.

Annotation

Title: Analysis of the data connection of mobile devices

Bachelor thesis deals with mobile networks, namely data transmission in these networks. The theoretical part deals with the basic principles of mobile communications and their own definition of mobile networks. Furthermore, the theoretical part deals with the very development of mobile networks, with the main focus on the speed of data transfer within individual mobile generations. The practical part deals with the coverage of mobile networks in the Czech Republic, and specifically for the city of Hradec Kralove. The task of research in the practical part was finding the actual coverage of the major operators, as opposed to that provided coverage of the Czech Telecommunications Office. Another part of the research was to measure the speed of data transfer at designated places for research. Bachelor thesis summarizes the results from the practical part.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle a metodika práce.....	2
3	Protokoly a generace	3
3.1	Principy mobilní komunikace.....	3
3.1.1	Metody vícenásobného přístupu	3
3.1.2	Způsoby přenosu	4
3.2	Buňkový systém pro mobilní telefonní síť	6
3.2.1	Ostrůvkovitá koncepce.....	6
3.2.2	Buňkový systém	6
3.2.2.1	Sektorizace	7
3.2.2.2	Handover.....	8
3.3	0G.....	11
3.4	1G.....	12
3.5	2G.....	13
3.5.1	GSM	13
3.5.1.1	Struktura GSM.....	13
3.5.1.2	Standardy GSM.....	14
3.5.1.3	Přenos dat v GSM	16
3.5.1.4	HSCSD	16
3.5.2	GPRS.....	17
3.5.3	EDGE	19
3.6	3G.....	20
3.6.1	3GPP.....	21
3.6.2	UMTS	21
3.6.2.1	Struktura UMTS.....	21

3.6.2.2	UTRAN.....	22
3.6.2.3	Řízení výkonu UTMS.....	24
3.6.3	HSDPA.....	25
3.6.4	HSUPA.....	26
3.6.5	HSPA+.....	27
3.7	4G.....	28
3.7.1	LTE-A.....	28
3.7.1.1	E-UTRAN	29
3.7.1.2	Heterogenní síť	30
3.7.1.3	Rychlosti LTE - A.....	31
3.8	5G.....	31
3.9	Porovnání mobilních generací	32
4	Pokrytí českých operátorů	34
4.1	Matematický model ČTÚ	34
4.2	Celorepublikové pokrytí českých operátorů	35
5	Měření v Královehradeckém kraji	39
5.1	Metodika měření.....	39
5.2	Měřicí zařízení a datové tarify.....	40
5.3	Měřicí aplikace	40
5.4	Testování mobilní sítí.....	41
5.4.1	Pokrytí operátorů.....	41
5.4.2	Testy rychlostí	43
6	Výsledky práce	48
7	Závěry a doporučení	49
8	Seznam použité literatury.....	50
9	Seznamy obrázků a tabulek.....	55

1 Úvod

Člověk je od přírody tvor společenský a v dnešní moderní době tomu není jinak. Již od dávnověku se lidé snaží spolu nějak komunikovat na vzdálenosti delší, než jejich hlas stačí. Za historické komunikační prostředky můžeme považovat třeba kouřové signály, poštovní holuby nebo vzkazy v láhvi. Doba je však neúprosná a stejně tak i čas. Toho si je člověk dobře vědom a proto začal pracovat na něčem, co mu umožní komunikovat na dlouhé vzdálenosti.

Předlohou takového komunikačního prostředku byl telegraf, nicméně v této práci je pojednáváno o něčem, více sofistikovanějším. Řeč je o mobilních technologiích, které jsou během posledních několika let, nedílnou součástí lidské společnosti. Mobilní telefon patří takřka mezi hlavní věci, co má člověk u sebe kromě dokladů, peněz či klíčů. Nároky, které na naše mobilní telefony máme, ale neustále stoupají a v souvislosti s tím stoupají i nároky na samotné mobilní sítě, konkrétně na mobilní operátory, kteří je poskytují.

V rámci prvních generací mobilních sítí, šlo především o kvalitní a spolehlivou hlasovou komunikaci a textovou komunikaci. Nicméně, v dnešní době, kdy se očekává neustálý přístup k internetu, se změnily i nároky na mobilní sítě. Poslední generace už moc neřeší otázku hlasové komunikace, ale spíše se zaměřují na rychlé a nejlépe všude dostupné datové připojení.

V první části bakalářské práce se pojednává o vývoji mobilních sítí a jejich vzrůstající rychlosti v datových přenosech napříč vývojovými generacemi. Druhá část práce je více zaměřená prakticky, a to konkrétně na zjištění dostupnosti pokrytí pro nejnovější technologie. V závislosti na těchto technologiích je prováděno měření rychlosti pro dostupné technologie. Výsledkem by mělo být vyvrácení, či potvrzení uváděného pokrytí mobilními operátory. Dále pak porovnání teoretických a reálných rychlostí datových přenosů.

Tato práce by měla být přínosem pro každého, kdo by chtěl získat detailnější přehled znalostí z oblasti mobilních sítí, efektivitě datových přenosů a o pravdivosti některých reklamních výroku z této oblasti.

2 Cíle a metodika práce

Cíl práce

Tato bakalářská práce poskytuje základní pohled do problematiky mobilních sítí a do problematiky datových přenosů, v rámci mobilních sítí. Hluběji se práce věnuje novějším sítím třetí generace a to speciálně technologií UMTS, HSPA, HSPA+ a LTE. Těmito technologiemi se zabývá i praktická část, kdy je testováno pokrytí Českých operátorů v Hradci Králové, a jsou měřeny rychlosti datových přenosů pro dostupnou technologii.

Hypotézy

H1: Mapa pokrytí Hradce Králové, poskytovaná Českým telekomunikačním úřadem, mobilní technologií LTE, neodpovídá reálnému pokrytí poskytovanému operátory.

H2: Reálné rychlosti datových přenosů jsou několikanásobně nižší, než rychlosti teoretické, uváděné příslušnými standardy pro dané technologie.

Metodika

Teoretická část této bakalářské práce je výhradně založena na literatuře a člancích, pojednávající o problematice mobilních sítí. Jelikož literatura je v ohledu mobilních technologií pro češtinu nedostačující, je nutné čerpat z cizojazyčné literatury. Ohledně článků, týkajících se základů a prvních generací mobilních sítí, je situace o něco lepší. Je zde možné čerpat z dokumentů, či webových stránek publikovaných profesory ČVUT. Pro novější generace je nutné využít literaturu zahraniční.

V praktické části se autor zaměřuje na ověření správnosti map mobilního pokrytí pro Českou Republiku, konkrétně Hradec Králové. Tyto mapy jsou poskytovány Českým telekomunikačním úřadem a vychází z výpočtů postavených na matematického modelu. Součástí praktické části bylo i měření rychlosti datových přenosů prováděné v Hradci Králové. V rámci tohoto měření, byly výsledné hodnoty porovnány s teoretickými a byly zjištěny i závislosti na čase, ve kterém byly měření prováděny.

3 Protokoly a generace

Náplní této kapitoly jsou základní poznatky z problematiky mobilních sítí. Od principů samotné komunikace v mobilních sítích, přes generace mobilních sítí až po jednotlivé technologie či verze technologií spadajících do jednotlivých generací.

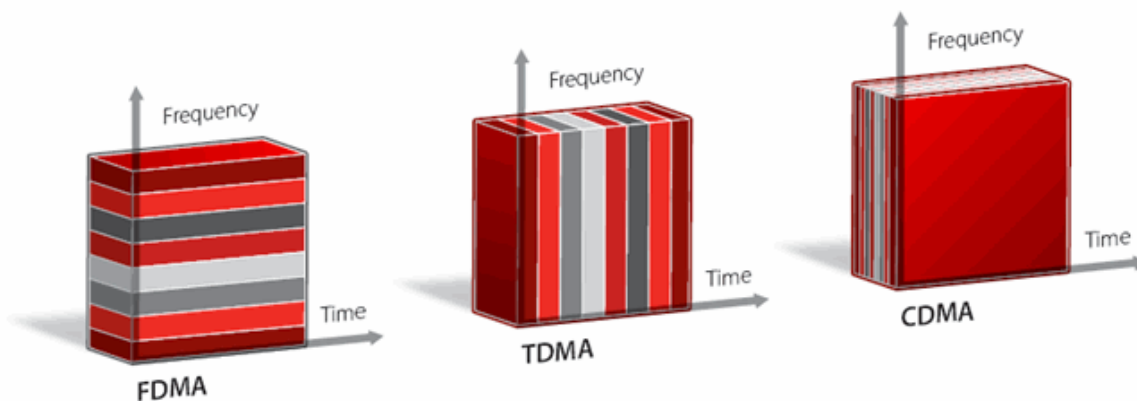
3.1 Principy mobilní komunikace

3.1.1 Metody vícenásobného přístupu

V rámci buňkového přístupu je nutné, aby pro jednu základovou stanici bylo možné komunikovat s větším počtem mobilních stanic. Toto nám umožňují metody Multiple Access (vícenásobný přístup). Za předpokladu, že máme plně k dispozici určité frekvenční pásmo, můžeme použít následující metody vícenásobného přístupu:

- Frequency Division Multiple Access, FDMA (vícenásobný přístup s kmitočtovým dělením): Metoda je založená na rozdělení frekvenčního pásma na subpásma, kterým se dále přiřadí jednotlivé kanály.
- Time Division Multiple Access, TDMA (vícenásobný přístup s časovým dělením): Tato metoda pracuje s časovými úseky, které jsou vytvořeny v daném frekvenčním pásmu.
- Code Division Multiple Access, CDMA (vícenásobný přístup s kódovým dělením): V této metodě je každý komunikační kanál podroben kódování na vysílací straně a dekódování na přijímací straně. Toto kódování je pro každý kanál unikátní a proto je možné komunikovat v jednom frekvenčním pásmu v jeden čas.

V praxi dochází často ke kombinaci těchto přístupů např. FDMA/TDMA. Nejdříve dojde k rozdělení pásma metodou FDMA na jednotlivé kanály, a v těchto kanálech se dále vytvoří časové kanály pomocí TDMA.



Obr. 1 Metody vícenásobného přístupu
Zdroj: [28]

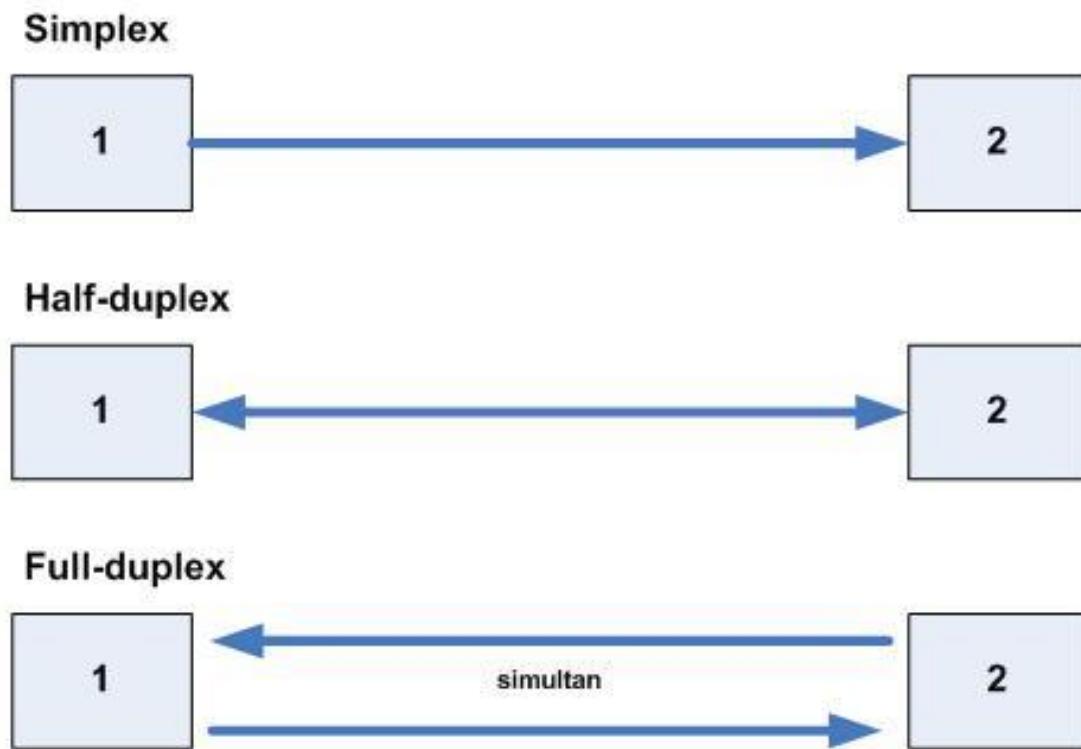
[23],[28]

3.1.2 Způsoby přenosu

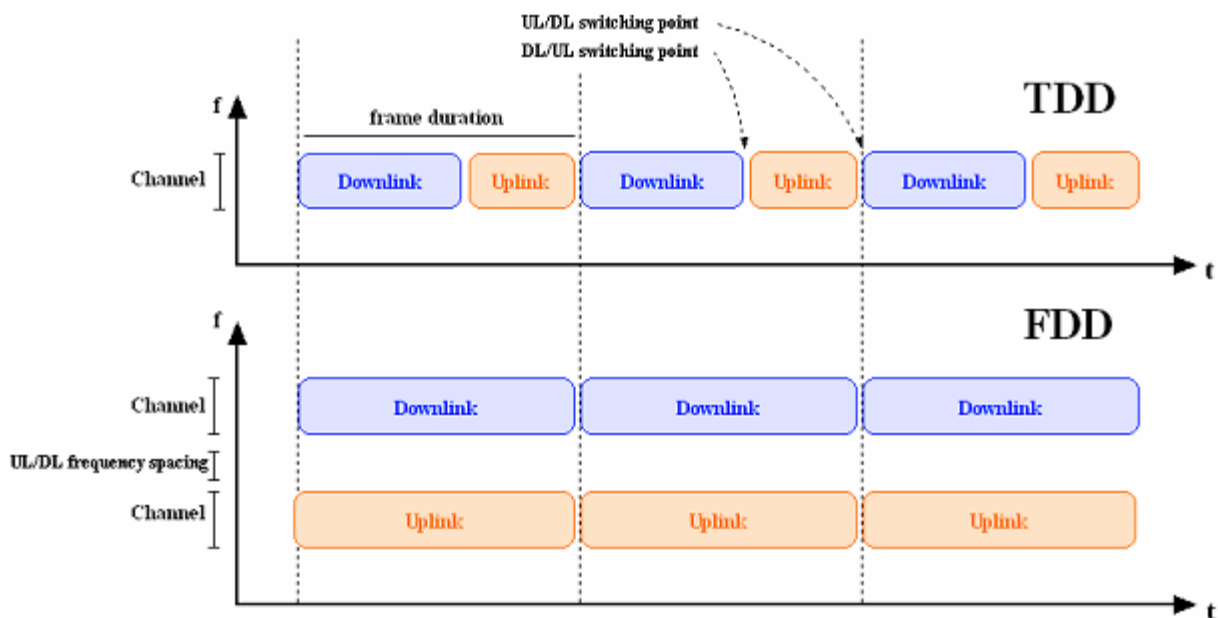
Pro komunikaci mezi dvě body (stanicemi) je vždy nutno použít jednu z následujících metod přenosu:

- Simplex – komunikace probíhá pouze jedním směrem za využití jednoho kanálu
- Half-duplex – komunikace probíhá oběma směry za využití jednoho kanálu, ovšem ne v jeden čas
- Full-duplex – komunikace probíhá oběma směry v jeden čas za využití dvou kanálů

Pro bezdrátovou komunikaci je nejčastěji využíván poslední zmíněný přenos, tedy full-duplex. Kde se pro oba kanály využívá jiné frekvence. Tato metoda se označuje jako FDD (Frequency Division Duplex). V druhé případě se využívá přenos TDD (Time Division Duplex). Tento přenos využívá jedné frekvence s tím, že je oběma směry přiřazen jiný časový interval.



Obr. 2 Způsoby přenosu
Zdroj:[27]



Obr. 3 Rozdíl mezi přenosy FDD a TDD
Zdroj: [32]

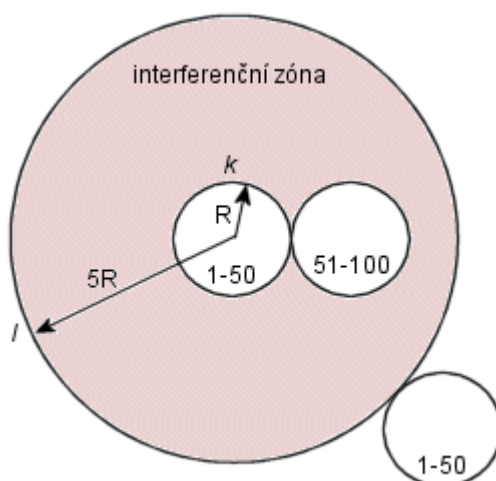
[27],[28]

3.2 Buňkový systém pro mobilní telefonní síť

3.2.1 Ostrůvkovitá koncepce

Předtím, než byl vyvinut buňkový systém pokrytí, tak se používalo tzv. ostrůvkovité rozdělení oblastí. Tato koncepce rozvržení pokrývala velice rozsáhlé území, avšak vyžadovala velké výkony a velké množství kanálů v rámci přiděleného frekvenčního pásma.

U této koncepce kružnice k představuje oblast pokrytí jedné základové stanice, která pro plné pokrytí zadané oblasti využívá kanály 1 – 50. Signál této stanice je však nadále silný i mimo tuto oblast. Oblast dosahu signálu je vyznačena kružnicí l a říká se jí tzv. interferenční zóna. Kanály 1 – 50 budou tedy znovupoužitelné až mimo tuto zónu, jinak by docházelo k interferenci.



Obr. 4 Ostrůvkovité rozdělení oblastí
Zdroj: [28]

[28]

3.2.2 Buňkový systém

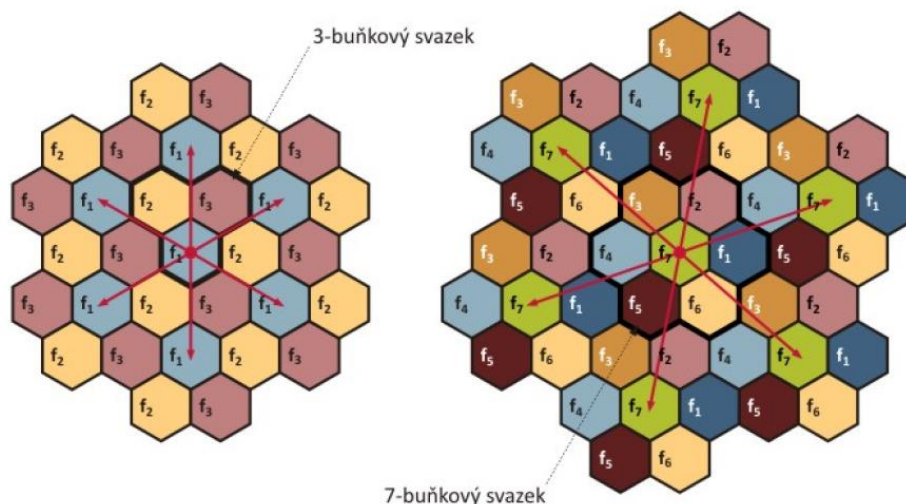
Dnešní mobilní síť jsou tvořeny tzv. buňkami. Buňka jako taková, je část oblasti, která je pokryta základovou stanicí. Tyto buňky na sebe těsně navazují a tím je dosaženo maximálního pokrytí. V důsledku toho, že buňky na sebe přímo navazují, je nutné, aby sousední buňky pracovaly každá na odlišné frekvenci, jinak by docházelo k vzájemnému rušení. Vzhledem k topologickému návrhu sítě je vhodné si zvolit takový tvar buňky, aby nedocházelo k rušení, ale zároveň je dobré

minimalizovat potřebné množství frekvencí. Podle těchto omezení je výhodné zvolit šestiúhelníkový tvar buňky, který umožňuje využití pouze tří nebo sedmi různých frekvencí. Po přiřazení těchto frekvencí jednotlivým sousedním buňkám, vznikají takzvané buňkové svazky řízené jednou základovou stanicí. Tyto svazky je možné kontinuálně používat a pokrýt tím teoreticky nekonečně velké území.

Odhadem se dá uvažovat, že na pokrytí oblasti ostrůvkovitou koncepcí bylo zapotřebí zhruba 1250 kanálů, kdežto u buňkového systému je to přibližně 50.

Typy buněk:

- pikobuňka – uvnitř budov (kanceláře, byty), dosah desítky metrů
- mikrobuňka – městská zástavba, dosah stovky metrů
- makrobuňka – velké oblasti, dosah až desítky kilometrů
- satelitní buňka – spojení je možné prakticky kdekoli na povrchu Země v závislosti na aktuální poloze družice a parametrech transceiveru (vysílač/přijímač)



Obr. 5 Rozdělení oblasti do buněk

Zdroj: [26, s. 12]

[26],[28]

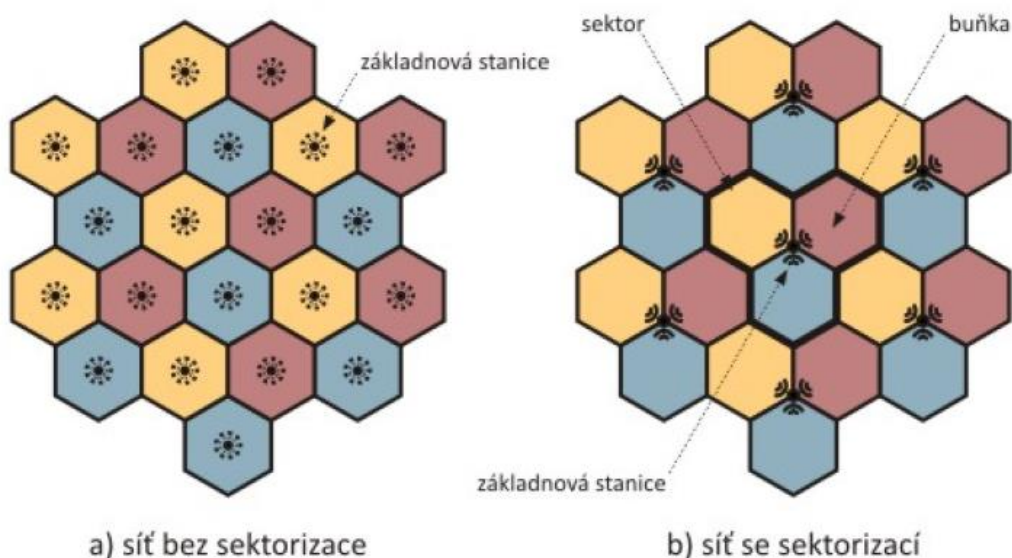
3.2.2.1 Sektorizace

Buňkový systém má však také nevýhody a to především z hlediska materiálního. Zatím co ve starší koncepci bylo k pokrytí oblasti R zapotřebí jedné základové stanice, u buňkového systému je těchto stanic zapotřebí sedm. Toto

řešení by však bylo ekonomicky i topologicky značně náročné. Z tohoto důvodu se začalo uvažovat o řešení, které by tento počet stanic pomohlo zredukovat. Byl tedy zaveden tzv. princip sektorizace.

Při sektorizaci dochází k rozdělení svazku na 21 menších buněk. Počet kanálů zůstane i nadále stejný, ovšem počet stanic se zvýšil na 21. Zde pak přichází na řadu sektorizace, která potřebný počet sníží na sedm. Tyto stanice pak nejsou umístěny ve středu buňky, ale jsou umístěny na společném bodu tří sousedních buněk. Buňky jsou pak obsluhovány jednou stanicí, kde pro každou ze tří buněk je vyhrazena jedna směrová anténa s transceiverem.

Výsledná síť obsahuje sice stejný počet stanic jako na obr. 5, nicméně se výrazně zlepšily provozní vlastnosti (vysílací výkony, počet obsluhovaných mobilních stanic).



Obr. 6 Princip sektorizace
Zdroj: [26, s. 13]

[26],[28],[32]

3.2.2.2 Handover

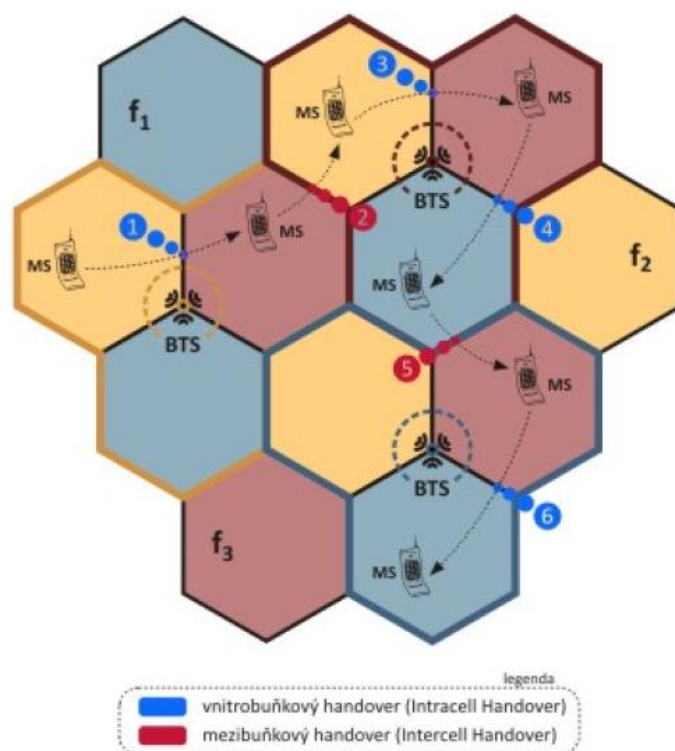
Jak už bylo dříve zmíněno, tak každé dvě sousední buňky používají jiné kanály pro komunikaci. Tímto však vzniká problém, kdy mobilní stanice opouští jednu buňku a vstupuje do druhé buňky a je tedy nutné změnit komunikační kanály. Dříve bylo nutné přeladit kanály manuálně. Dnes však v moderních systémech tento

proces probíhá automaticky, bez toho, aby o tom uživatel stanice věděl. Pro tento proces se používá označení handover.

Hlavním požadavkem pro správnou funkci procesu je neustálá znalost aktuální polohy mobilní stanice, alespoň na úrovni buněk. Mobilní stanice tedy udržuje kontakt se všemi okolními základovými stanicemi a zjišťuje kvalitu signálu s nimi. V případě, že je možné dosáhnout lepší kvality spojení, s jinou než aktuální základovou stanicí, je mobilní stanice odpojena od stávající základové stanice a následně připojena k nové základové stanici.

Handover je možné rozdělit na dva typy:

- intercell handover (mezibuňkový handover): V tomto procesu dochází ke změně buňky. V závislosti na změně buňky je tedy nutná změna frekvence i kanálů
- intracell handover (vnitrobuňkový handover): Tento handover označuje změnu v rámci jedné buňky, pracuje se tedy se stejnou frekvencí, a je tedy nutné změnit pouze komunikační kanál.



Obr. 7 Handover

Zdroj: [26, s. 16]

Tento proces může být řízený buď složkami systému, nebo se na něm může podílet mobilní stanice, případně může i převzít celý proces. V prvním případě, kdy je proces řízen systémem, jsou po mobilní stanici požadovány jen kontrolní signály. Na základě těchto signálů pak ústředna, která je spojena se základovými stanicemi, rozhodne o nejkvalitnější spojení a dojde k navázání spojení mezi základovou a mobilní stanicí. V druhém případě je po mobilní stanici vyžadováno neustálé měření kvality a intenzity signálu. Výsledky jsou pak předány systému a na základě těchto výsledků je uskutečněno spojení základové stanice s mobilní stanicí. U posledního typu řízení handoveru má mobilní stanice hlavní roli. Dochází zde opět k neustálému měření jako v předchozím případě s tím rozdílem, že se zohledňují i měření prováděné základovou stanicí. Po vyhodnocení měření pak mobilní stanice dává požadavek o navázání spojení přímo základové stanici.

Handover lze také rozdělit z hlediska procesu, jakým jsou uskutečněna samotná přepojení:

- Hard handover (tvrdý): Nejdříve se stanice odpojí od aktuálního kanálu a poté proběhne připojení k novému. Dochází tedy ke chvilkovému výpadku, který při hlasové komunikaci není prakticky znatelný. Nicméně při datové komunikaci může nastat problém.
- Seamless handover (bezešvý): Nejdříve proběhne připojení k novému kanálu a pak odpojení od staršího. Je zde tedy zapotřebí určitá synchronizace kanálů.
- Soft handover (měkký): Probíhá neustálé spojení mobilní stanice s minimálně dvěma dostupnými základovými stanicemi. To znamená, že když je mobilní stanice v pohybu, spojení neustále zanikají a vznikají nová spojení.

[26],[28],[32]

3.3 0G

Nultá generace, neboli jinak označované mobilní radiotelefonní systémy, jsou předchůdci moderních mobilních sítí. Tato generace začala od konce druhé světové války, tudíž kolem roku 1945. V těchto systémech probíhala, probíhala komunikace čistě pomocí analogového signálu.

Mezi technologie používané v nulté generaci patří například následující:

- Push-to-talk (PTT) - označuje způsob komunikace po half-duplex spojeních, kdy je možná komunikace vždy pouze jedním směrem a chce-li operátor mluvit, musí stisknout tlačítko
- Mobile Telephone Service (MTS) – tento typ komunikace probíhal přes mobilního operátora, který požádal volajícího o jeho mobilní číslo a číslo volaného, které následně spojil
- Improved Mobile Telephone Service (IMTS) – nástupce MTS umožňující přímé spojení, tzn. spojení bez využití operátora
- Automatizovaný Městský Radiotelefon (AMR) – mobilní síť vyvinutá v Československu určená pro správu pošt a telekomunikací.

Tyto první mobilní telefonní systémy, lze odlišit od dřívějších, uzavřených radiotelefonních systémů tak, že jsou k dispozici jako komerční služba, která byla součástí veřejné telefonní sítě. Na rozdíl od uzavřených radiových sítí, využívaných například u policejních složek nebo taxi služeb, tyto sítě využívaly už vlastní telefonní čísla.

Mobilní telefony tohoto typu byly obvykle namontovány v osobních nebo nákladních autech. Typicky byl transceiver (vysílač/přijímač) umístěn v kufru auta a samotná hlava (sluchátko s displejem) byla umístěna vedle sedadla řidiče.

Prvním komerčním systémem byl finský Autoradiopuhelin (ARP), který bývá občas označován jako technologie 0,5G. Tento systém fungoval na osmi kanálech s frekvencemi 147,9 - 154,875 MHz na systému half-duplex s manuálním přepínáním na straně operátora. ARP se vyznačoval 100% pokrytím a díky tomu byl ve své době velmi populární. Pokrytí bylo řešeno formou buněk, které zaštiťovaly rádius 30km.

Tyto buňky na sebe těsně navazovaly. Nevýhodou bylo, že síť nepodporovala handover, tudíž při změně buňky, které síť tvořily, byli účastníci odpojeni.

[11],[26],[28]

3.4 1G

Tato první generace mobilních systémů využívá, stejně jako generace nultá, radiového analogového přenosu informací. Standardy této generace byly vytvořeny v 80 letech minulého století a využívaly především metodu FDMA a frekvenční modulaci (FM).

První komerční systém 1G byl spuštěn v roce 1979 firmou NTT v Tokiu. V Evropě a USA byly komerční systémy spuštěny až o dva roky později.

Byly to systémy:

- NMT (Nordic Mobile Telephony)
- TACS (Total Access Communication Systém)
- AMPS (Advanced Mobile Phone Systém).

Systém	Frekvenční pásma (MHz)
NMT	450 nebo 900
TACS	900
AMPS	800 - 900

Tabulka 1 Frekvence systémů 1G

Zdroj: [38]

Tyto systémy už fungovaly s podporou handover a mezinárodního roaming. Nicméně buňkové sítě nebyly schopny pracovat mezi jednotlivými státy, což je jednou z hlavních nevýhod sítí první generace.

[16],[38]

3.5 2G

Na konci osmdesátých let minulého století bylo jasné, že sítě první generace založené na analogovém signálu už nejsou dostačující. Každý stát, který využíval síť 1G měl svůj vlastní standard a bylo tedy v zásadě nemožné používat zařízení v jiné zemi. Řešením byly sítě druhé generace, které už pracovaly pomocí digitálního signálu. Digitální signál se ukázal tedy nejen jako praktičtější, ale i ekonomicky výhodnější.

Z hlediska konkrétních technologií využívají sítě 2G metody přístupu TDMA a CDMA. Oproti sítím 1G mají tyto sítě vyšší účinnost spektra, poskytují lepší datové služby a je zde použita pokročilejší technologie roamingu. Dále je zde daleko lepší zabezpečení z hlediska šifrování a byla zde taky zavedeny mobilní datové služby, které začínaly s přenosem SMS zpráv.

3.5.1 GSM

Hlavním příkladem 2G sítí je GSM (Global System for Mobile Communication), který byl nasazen proto, aby definoval základní a ucelené standardy sítím 2G. Zprvu pro Finsko, následně pro Evropu a v dnešní době je se GSM stal celosvětovým standardem. Jakožto standard, podléhá GSM pod správu Evropského telekomunikačního normalizačního institutu (ETSI).

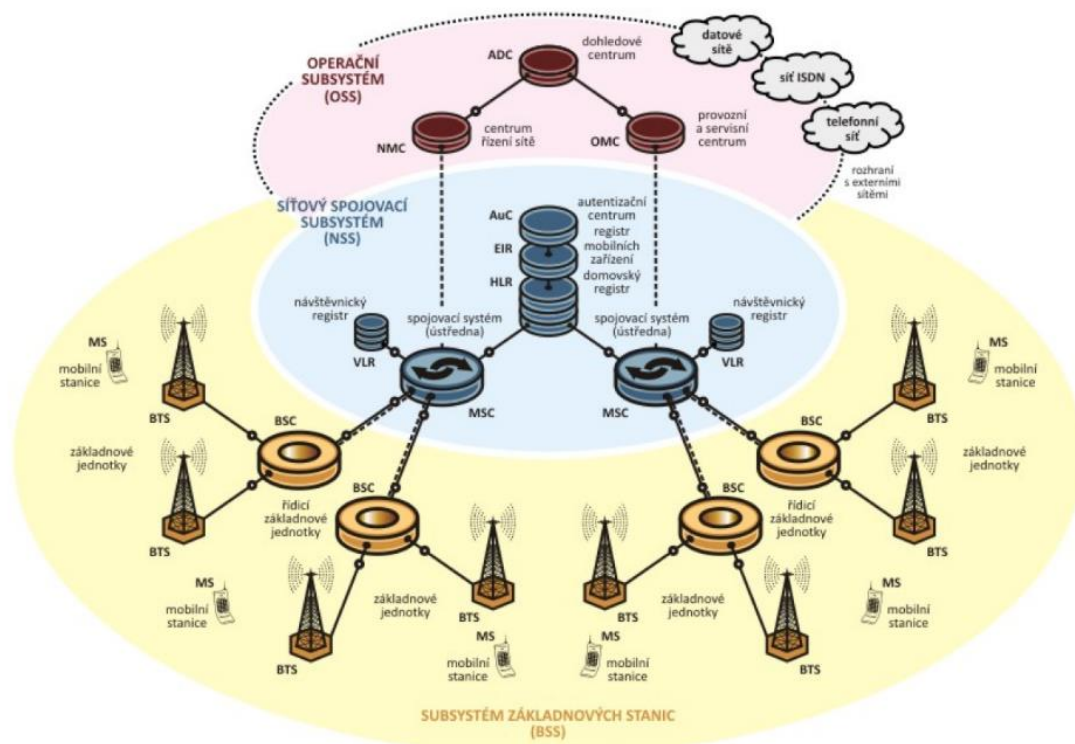
[16],[31],[38]

3.5.1.1 Struktura GSM

Z hlediska správného fungování a pochopení, využívá GSM pevně danou strukturu sítě. Strukturu lze popsat následujícími bloky:

- Mobile Station, MS (Mobilní uživatelská stanice) – MS je označení pro transceiver (např. mobilní telefon) komunikující se základovou stanicí. Účastník je identifikován dle SIM karty (Subscriber Identification Module) a samotná MS podle IMEI (International Mobile Equipment Identity).
- Base Station Subsystem, BSS (Subsystem základových stanic) – Subsystem pro komunikaci s jednotlivými MS. Součástí subsystemu jsou základové stanice (BTS), základové řídicí jednotky (BSC) a transkodér (TC)

- Network Switching Subsystem, NSS (Síťový spojovací subsystém) – Tento subsystém, lze označit za klasickou ústřednu, s tím rozdílem, že poskytuje další funkce např. handover, určování polohy. Tento subsystém pracuje se všemi službami poskytované systémem GSM.
- Operational and Support Subsystem, OSS (Operační a podpůrný subsystém) – Posledním subsystém je určen pro správu sítě. Umožňuje monitorování, opravy či diagnostiku sítě.



Obr. 8 Struktura systému GSM

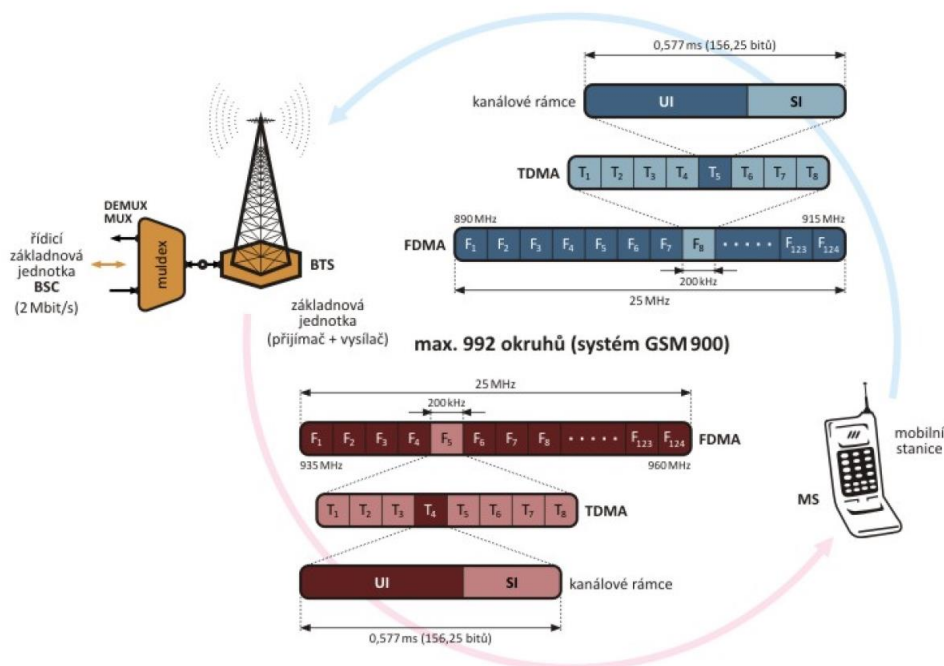
Zdroj: [26, s. 21]

[26],[27],[28]

3.5.1.2 Standardy GSM

GSM používá hned několik frekvenčních standardů. Nicméně pro příklad se zaměříme na standardní systém GSM 900. U tohoto standardu jsou pro přenos vyhrazena dvě pásma o šířce 25 MHz a tyto pásma mají mezi sebou odstup 45 MHz. Pásma od mobilní stanice k základnové jsou určeny frekvence 890 – 915 MHz. Opačný směr pak probíhá na frekvencích 935 – 960 MHz. Jako metoda přístupu je zde

zvolena kombinovaná metoda FDMA/TDMA. FDMA rozdělí frekvenční pásma na 124 subpásem a TDMA v každém subpásmu vytvoří 8 kanálů.



Obr. 9 Principiální blokové schéma mobilní stanice standardu GSM 900

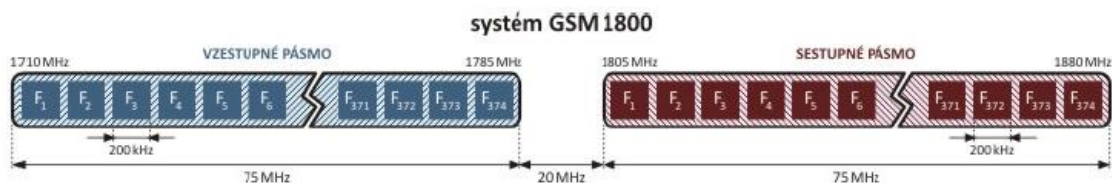
Zdroj: [26, s. 25]

Kanálový rámec o délce 156,25 bitů mající dobu trvání 0,577 ms se skládá z bitů UI (uživatelské) a SI (služební) informace. Z tohoto tedy vyplývá celková kapacita základové stanice, která má $124 * 8 = 992$ použitelných dvojic kanálů.

Standard	Pásmo (MHz)	Počet kanálů	Šířka pásma (MHz)
GSM 900	900	$2 * 124$	$2 * 25$
GSM 1800	1800	$2 * 374$	$2 * 75$
GSM 1900	1900	$2 * 298$	$2 * 75$

Tabulka 2 Standardy GSM

Zdroj: [vlastní zpracování]



Obr. 10 Frekvenční pásmo standardu GSM 1800 a jeho dělení

Zdroj: [26, s. 27]

Hlavní výhodou standardu GSM 1800 je vyšší počet kanálů. Z tohoto důvodu je použit především v oblastech, ve kterých je větší koncentrace mobilních zařízení. Je i možné kombinovat systémy využívající z větší části GSM 900 a jen pro určité buňky použít GSM 1800, za předpokladu, že je využíváno mobilních stanic podporujících dvě pásma.

[26],[28],[32]

3.5.1.3 Přenos dat v GSM

Rychlost, při přenosu hovoru, mezi sítí GSM a mobilní stanicí je obousměrně 13kbit/s. Pro přenos dat je ovšem dostupných pouze 9,6 kbit/s.

Radiový kanál systému GSM má přenosovou rychlost 33,8 kbit/s. Nicméně, GSM je založeno na principu, který umožňuje pro jeden časový interval pouze 22,8 kbit/s s tím, že zbylých 11 kbit/s se užívá pro zajištění funkcionality sítě. Právě kvůli zajištění správné funkcionality je nutné i pro přenos dat vyhradit režijní bity. V důsledku toho je přenosová rychlost dat 9,6 kbit/s a zbylých 13,2 kbit/s zajišťuje ošetření případných chyb či výpadků. Tento datový přenos je založen na metodě přepojování okruhů označované jako CSD (Circuit Switched Data).

Tyto rychlosti se však nepatrně zvýšily po tom, co se odzkoušelo, že není nutné, aby byla ochrana tak silná. Snížení režijních bitů umožnilo zvýšení rychlosti na 14,4 kbit/s. Nevýhodné to ovšem bylo v případě, kdy se jednalo o přenos do okrajové části buňky. V těchto místech nebyl tento přenos příliš efektivní. Za přenos dat v GSM se jako v jediném systému platí za čas, nikoliv za přenesená data.

[26],[28]

3.5.1.4 HSCSD

Řešení HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) umožňuje zvýšit rychlost přenosu dat pomocí využití více časových intervalů. Takovéto přenosy mohou být asymetrické, neboli při komunikaci mezi mobilní stanicí a základovou stanicí, může ve směru od mobilní stanice jít přenos ve třech časových intervalech, tzn. na těch slotech, nicméně zpátky může být přidělen jen jeden interval (slot). Tohoto

rozdělení 3:1 se hojně využívá, jelikož data častěji putují ve větší míře k uživateli (mobilní stanici), nežli do internetu.

Rozdělení do tříd s příslušným počtem slotů:

Třída HSCSD	Maximální počet slotů		
	Příjem	Vysílání	Celkem
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
9	3	2	5
10	4	2	5
12	4	4	5
13	3	3	6
18	8	8	16

Tabulka 3 Rozdělení HSCSD

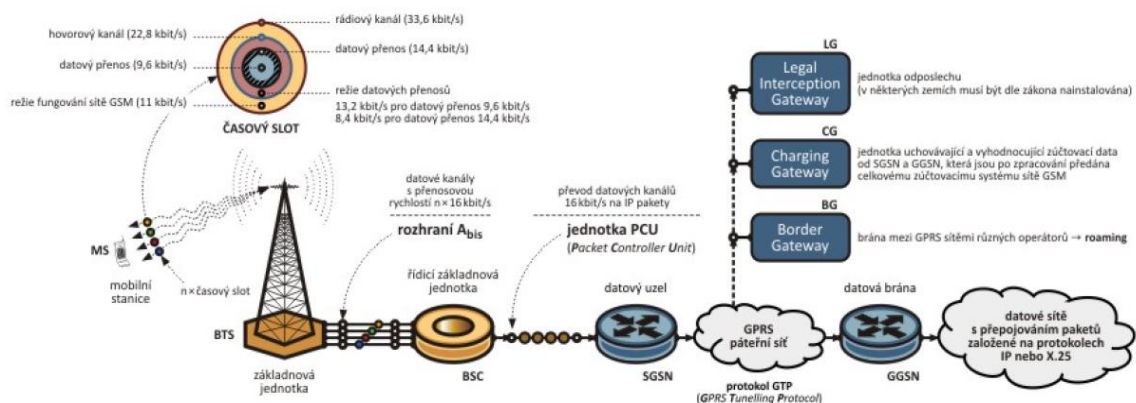
Zdroj: [28]

[26],[28]

3.5.2 GPRS

Služba General Packet Radio Service (GPRS) je občas také označovaná jako 2,5G. Princip přenosu dat pomocí GPRS využívá technologii přepojování paketů a dynamické obsazování kanálů. Každý tento kanál může sdílet více uživatelů sítě a to přináší značné výhody. Jednou z výhod přepojování paketu je možnost zpoplatnění služby v rámci přenesených dat a druhou výhodou je poskytování přenosu těm uživatelům, kteří v daný moment opravdu potřebují data přenášet.

Jak je vidět na obr. 11, tak zavedení GPRS do stávající GSM sítě vyžaduje značné změny v architektuře sítě.



Obr. 11 Přenos dat prostřednictvím GPRS
Zdroj: [26, s. 34]

Zásadní prvky, které nám v GPRS přibyly, jsou SGSN (Serving GPRS Support Node), což je uzel zodpovídající za komunikaci s radiovou částí sítě, uzel GGSN (Gateway GPRS Support Node) zodpovídající za komunikaci s jinými sítěmi. Tyto dva uzly mezi sebou komunikují pomocí protokolu GTP (GPRS Tunneling Protocol), který vychází z protokolu TCP/IP.

Přenosové rychlosti v GPRS vycházejí z klasických předpisů GSM, nicméně jsou různé, v závislosti na čtyřech různých úrovních. Tyto úrovně jsou ovlivněny podmínkami, ve kterých se signál šíří. V ideálních podmínkách se sníží počet vyhrazených bitů pro režii přenosu a zvýší se tedy rychlost přenosu dat. Ve špatných podmínkách tomu je naopak.

Třída	„Užitečná“ přenosová rychlost
CS - 1	9,05 kbit/s
CS - 2	13,4 kbit/s
CS - 3	15,6 kbit/s
CS - 4	21,4 kbit/s

Tabulka 4 Třídy GPRS
Zdroj: [28]

GPRS také nabízí čtyři druhy datových přenosů, založených na potřebách k doručení daného paketu. Může se jednat o potřeby priority, spolehlivosti, zpoždění nebo propustnosti.

[26],[28],[31],[39]

3.5.3 EDGE

Další vývojovým stupněm v technologii GSM je EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) někdy označovaný jako 2,75G. Tato technologie nabízí opět vylepšení, oproti předchozí GPRS, v oblasti efektivity přenosu dat a vyšší spektrální účinnosti.

EDGE lze rozdělit na dvě hlavní části:

- EGPRS (Enhanced GPRS) – vylepšená verze GPRS, která využívá nových 5 tříd s modulací 8 – PSK
- ECSD (Enhanced Circuit Switched Data) – vylepšená verze CSD

Třída	„Užitečná“ přenosová rychlost	Modulace
MCS – 1	8,8 kbit/s	GMSK
MCS – 2	11,2 kbit/s	GMSK
MCS – 3	14,8 kbit/s	GMSK
MCS – 4	17,6 kbit/s	GMSK
MCS – 5	22,4 kbit/s	8 – PSK
MCS – 6	29,4 kbit/s	8 – PSK
MCS – 7	44,8 kbit/s	8 – PSK
MCS – 8	54,4 kbit/s	8 – PSK
MCS – 9	59,2 kbit/s	8 – PSK

Tabulka 5 Třídy EGPRS

Zdroj: [37]

V praxi se daleko více používá EGPRS. Opět je to hlavně kvůli ceně za přenesená data místo za čas. Mnoho výrobců mobilních telefonů a poskytovatelů sítí ani ECSD neimplementuje.

Rychlosti přenosu dat u EDGE dosahují hodnot v závislosti na použité modulaci a na počtu přidělených slotů. Teoreticky EGPRS může dosahovat rychlosti 236,8 kbit/s při downlinku. V praxi s konfigurací slotů 3+2 je to okolo 200 kbit/s downlink a 100 kbit/s uplink.

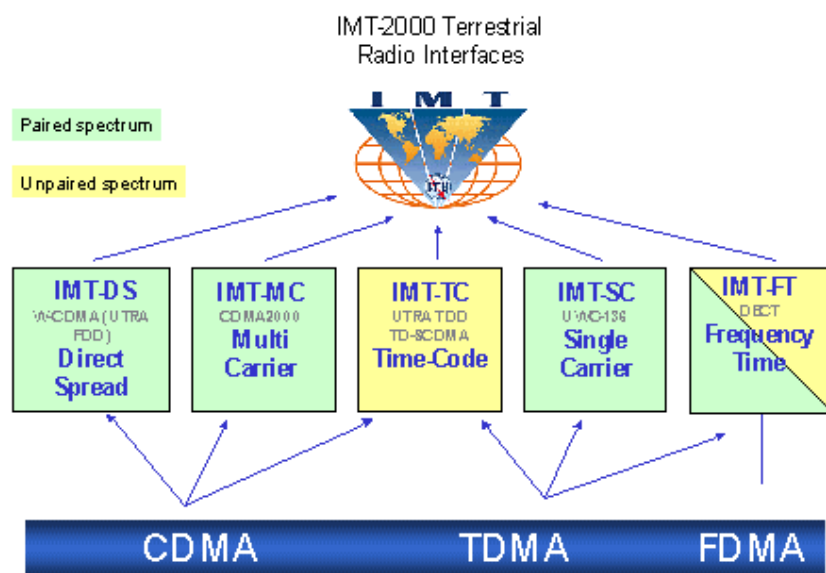
[26],[28],[30],[31]

3.6 3G

Po zdárném nasazení sítí 2G, zažívá telekomunikační odvětví velký nárůst zájemců o poskytované služby. Nicméně v závislosti na okolních technologiích a rychlém vývoji, stoupají i nároky na rychlejší datové přenosy. Proto se nedlouho po sítích druhé generace objevují sítě generace třetí, jakožto nástupce.

Vývojem 3G sítí byla pověřena instituce International Telecommunication Union (ITU). Tato instituce vydala soupis standardů pod označením IMT - 2000, kde číslovka 2000 může mít hned několik významů. Maximální přenosová rychlost je kolem 2000kbit/s, frekvenční oblast je kolem 2000 MHz a rok vstupu v platnost je 2000. K daným frekvenčním pásmům následně přibyly i pásma 1710 – 1885 MHz a 2520 – 2670 MHz.

Systémů, které jsou vyvíjeny pod standardem IMT – 2000 bylo oznámeno více jak 10 a to z různých částí světa. Pro Evropu to byl systém UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systém) s dvěma návrhy UTRA a DECT. Dále to byl systém W-CDMA pocházející z Japonska a několik dalších systémů z USA, Jižní Koreji a Číny. Nakonec bylo schváleno pět systémů.



Obr. 12 Protokoly rodiny IMT-2000 a využívané metody přístupu
Zdroj:[30]

[16],[26],[28]

3.6.1 3GPP

3GPP (3rd Generation Partnership Project) je projektová spolupráce mezi telekomunikačními asociacemi na specifikacích pro sítě 3G. V rámci tohoto standardu, a později i jeho druhé verze 3GPP2, se vytvořily standardy pro např. EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+, WiMAX, LTE a další.

[28]

3.6.2 UMTS

Pro sítě 3G byla zvolena metoda přístupu CDMA, tedy metody, u které se používá kódové dělení. Pro sítě UMTS je použita metoda z ní vycházející, a to WB-CDMA (Wideband CDMA).

Frekvenční spektrum je složeno z jednoho nepárového pásma, pracujícího na frekvencích 1910-1920 MHz + 2010-2025 MHz, a párového pásma, které pracuje na frekvencích 1920-1980 MHz + 2110-2170 MHz.

WB-CDMA pracuje s dvěma metodami duplexního přenosu:

- TDD (Time Division Duplex) – použití u nepárového pásma
- FDD (Frequency Division Duplex) - použití u párového pásma

[26],[28],[39]

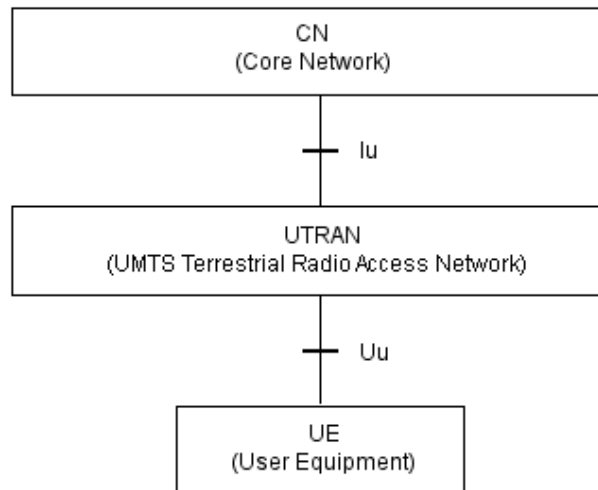
3.6.2.1 Struktura UMTS

Hlavní doménou UMTS by měl být fakt, že už není zaměřen na hlasová spojení, ale měl by se zabývat hlavně datovými přenosy. UMTS tedy vychází z faktu, že bude nasazena na funkční GSM síť s technologií GPRS.

Struktura UMTS sítě je rozdělena na tři části:

- UE (User Equipment) – není v zásadě nic jiného než mobilní uživatelská stanice.
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) – je část sítě zajišťující zabezpečený přístup uživatele k jádru sítě. V podstatě je obdobou subsystému základových stanic (BSS) v GSM.

- CN (Core Network) – pod touto částí se skrývá jádro sítě. Tato část poskytuje veškeré služby, které jsou k dispozici v UMTS a to hlavně směrování paketů a spojování hovorů. Obdobou subsystému NSS v GSM.



Obr. 13 Struktura UMTS sítě
Zdroj: [28]

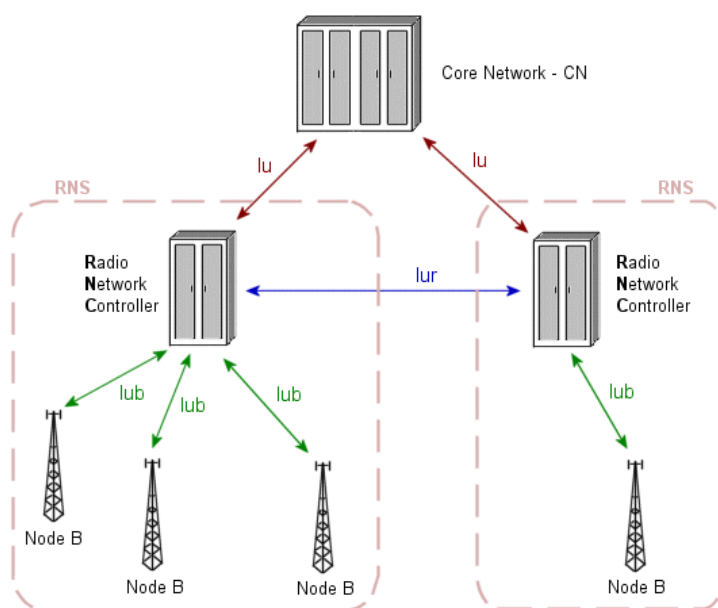
[26],[28],[39]

3.6.2.2 UTRAN

Samotná síť UTRAN je složena z několika subsystémů označovaných RNS (Radio Network Subsystém), kde každý z těchto subsystémů je řízen jednotkou RNC (Radio Network Controller) a ta je dále spojena s CN. Nicméně RNC nemusí být vždy provázána s CN, za předpokladu, že je spojena s ostatními RNC. Jednotky RNC jsou prakticky ekvivalentní s BSC užívaných v 2G sítí. Každá RNC je spojena s několika Node B základovými stanicemi, které jsou zase obdobou BTS. Spojení mezi RNC a Node B je prováděno pomocí rozhraní Iub. Mezi prvky RNC je pak rozhraní Iur, využívající výše zmíněnou metodu WB-CDMA.

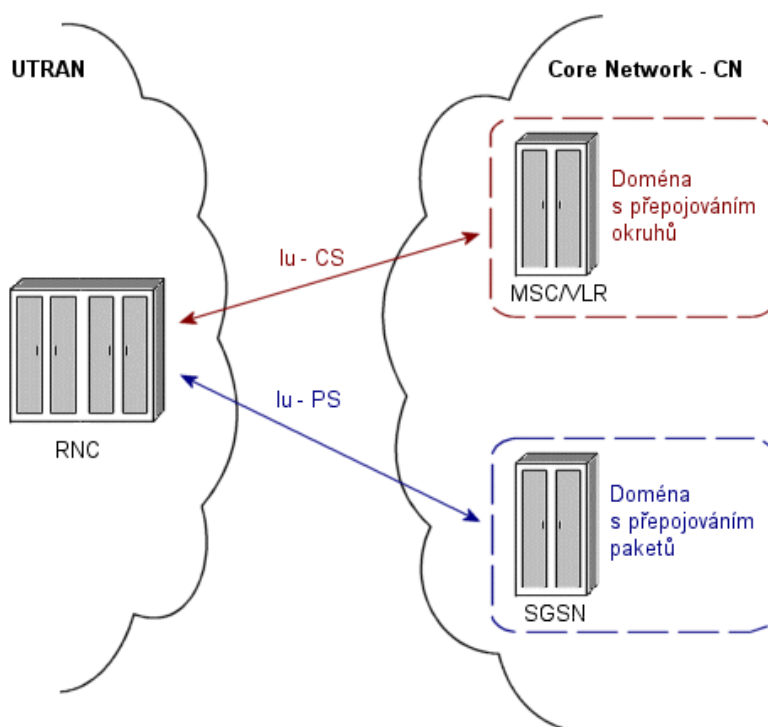
Rozhraní Iu, které spojuje RNC a CN se dále rozděluje na Iu – CS a Iu – PS.

- Iu–CS je okruhově spínaná doména. Tzn. vyhrazení nepřetržitého okruhu využívajícího uživatelem zvolenou službu do té doby, dokud uživatel službu neukončí. Příkladem může být využití telefonní hovoru.
- Iu – PS je paketově spínaná doména užívaná pro přenosy dat.



Obr. 14 Propojení v rámci UMTS

Zdroj: [28]



Obr. 15 Komunikační rozhraní mezi UTRAN a CN

Zdroj: [28]

Jak je patrné z obr. 15, CN je rozdělena na dvě domény. CS pro přepojování okruhů a PS pro přepojování paketů. Pro oba typy domén jsou některé funkce sdílené. CS doména obsahuje například telefonní ústředny, které mohou být, po menší úpravě, převedeny z GSM. PS je naopak složena z uzlů podporujících GPRS.

Celé jádro PS pak funguje na protokolu IP, s tím souvisí nutnost ochrany pomocí firewall. Dále pak musí PS obsahovat fungující služby DNS a DHCP pro přidělování adres uživatelským zařízením.

[26],[39]

3.6.2.3 Řízení výkonu UMTS

Jedním z nejdůležitějších procesů uvnitř sítě systému UMTS je Power Control (řízení výkonu) základové stanice Node B a mobilní stanice. Řízení je nutné kvůli tomu, aby nedocházelo k rušení mezi jednotlivými účastníky sítě. Regulovat vysílací výkon je možné regulací uplink (vysílání mobilní stanice) nebo downlink (vysílání základové stanice). Důvodem, proč je nutná regulace výkonu je tzv. near-far problem. Tento problém nastává, když pracují dvě mobilní stanice na stejné frekvenci u metody CDMA. V případě, že obě mobilní stanice vysílají stejným výkonem, tak signál mobilní stanice, která je dál od základové, bude velmi silně rušen. Řešením je právě výše zmíněné řízení výkonu.

Výkon je možné řídit následujícími metodami:

- Uplink
 - Uplink Closed Loop Power Control – základová stanice monitoruje přijímaný signál a zjišťuje hodnotu SIR (Signal to Interference Ration) od každé mobilní stanice v dosahu a porovná ji s hodnotou cílové SIR. Po vyhodnocení je mobilní stanici poslán pokyn pro snížení nebo zvýšení výkonu.
 - Uplink Open Loop Power Control – mobilní stanice nastaví výkon dle prvního signálu od základové stanice
 - Outer Loop Power Control – RNC určí každé základové stanici hodnotu cílové SIR, která má závislost na QoS mobilní stanice
- Downlink
 - Downlink Closed Loop Power Control – průběh je stejný jako u uplink s rozdílem, že vysílací výkon určuje mobilní stanice

[32],[35],[39]

3.6.3 HSDPA

Pokročilejší protokol spadající do 3G sítí je HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), občas také označovaný jako 3,5G. Protokol je založený na standardu UMTS. Lze již z názvu usuzovat, že hlavní předností protokolu je navýšení přenosové rychlosti pro downlink. Jednou z hlavních změn je přesunutí několika úkonů z režie RNC na samotnou Node B.

HSDPA dosahuje díky inovaci UMTS sítě rychlejšího reakčního času na změnu kanálu, nižšího zpoždění a rychlejšího zpracování při opakování přenosu díky procesu H-ARQ (Hybrid-Automatic Repeat Request).

Proces H-ARQ je zahájen ve chvíli, kdy zařízení koncového uživatele obdrží poškozený paket. Zařízení si tento paket uloží a okamžitě žádá o opětovné zaslání dat. Samotné znovu zaslání zařizuje základová stanice Node B, která se podívá do bufferu a v případě, že jsou v něm data stále uložena, je opět odesílá uživateli. Tím se značně urychluje proces retransmise.

HSDPA pracuje se sdíleným přenosovým kanálem HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel). Kapacita tohoto kanálu činní 15 současně vysílajících uživatelů. Koncová zařízení zasílají informace o kvalitě signálu stanici Node B (500 krát za sekundu) a ta na základě těchto přijatých informací přiřadí daným stanicím kódy a zašle potřebné informace pro přenos dat, který proběhne v následném 2ms rámci.

Přenášená data jsou modulována QPSK nebo 16-QAM. 16-QAM je zvolena jako přenosová modulace jen v případě dobrých přenosových podmínek. Je totiž schopna až dvojnásobné rychlosti přenosu oproti QPSK.

HSDPA bylo vydáváno v několika verzích a to pro standardy UMTS Release 5, pro které vyšly tři verze s přenosovými rychlostmi 1,8Mbit/s, 7,2 Mbit/s a 14,4 Mbit/s. Pro následnou UMTS Release 6 byl vydán HSDPA s rychlostí downlink 28,8 Mbit/s.

Třída	Počet HS-DSCH kódů	Modulace	Rychlost download [Mbit/s]
1	5	QPSK a 16-QAM	1,2
2	5	QPSK a 16-QAM	1,2
3	5	QPSK a 16-QAM	1,8
4	5	QPSK a 16-QAM	1,8
5	5	QPSK a 16-QAM	3,6
6	5	QPSK a 16-QAM	3,6
7	10	QPSK a 16-QAM	7,3
8	10	QPSK a 16-QAM	7,3
9	15	QPSK a 16-QAM	10,2
10	15	QPSK a 16-QAM	14,4
11	5	pouze QPSK	0,9
12	5	pouze QPSK	1,8

Tabulka 6 Třídy HSDPA pro UMTS Release 5

Zdroj: [27]

[13],[32],[35]

3.6.4 HSUPA

V rámci UMTS Release 6 byl také vydán protokol HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access), označující také se 3,75G, který zvyšuje přenosovou rychlost ve směru uplink. Tento protokol aplikuje stejné techniky a principy jako HSDPA s tím rozdílem, že běží prostřednictvím kanálu E-DCH (Enhanced Dedicated Channel). Navíc protokol nerozhoduje o přenosu dat jen v závislosti na kvalitě signálu, ale zohledňuje také dobu čekání k odeslání dat a množství dat, které se bude přenášet. Dalším rozdílem oproti HSDPA se týká řízení výkonu. V HSUPA může odeslat příkaz o zvýšení výkonu mobilní stanice pouze hlavní RNC. Příkazy k snížení výkonu pak mohou udělovat i ostatní RNC. Dále protokol nezavádí techniky týkající se modulace a kódování.

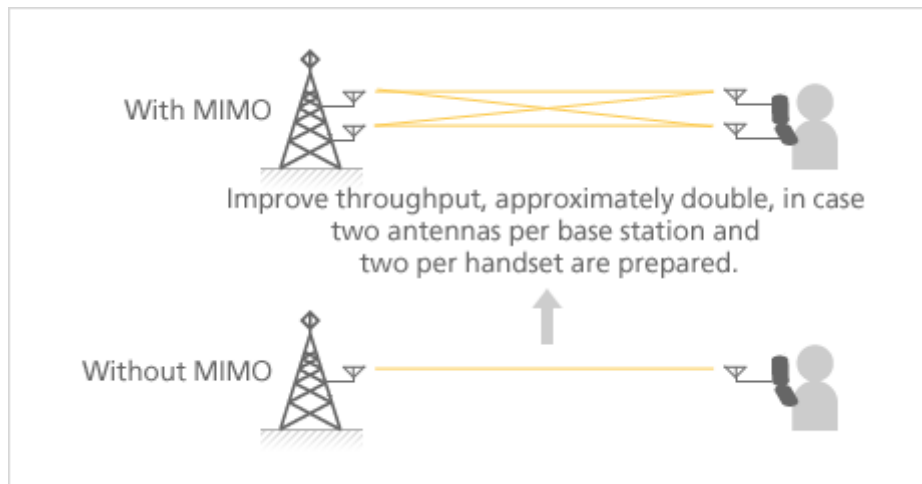
Třída	Maximální rychlost uploadu [Mbit/s]
1	0.73
2	1.46
3	1.46
4	2.93
5	2.00
6	5.76

Tabulka 7 Třídy HSUPA pro UMTS Release 6
Zdroj: [23]

[13],[32],[35]

3.6.5 HSPA+

HSPA+ je pak posledním protokolem standardu UMTS a ve svých posledních verzích dosahuje teoretických rychlostí 168 Mbit/s download a 23 Mbit/s upload. HSPA+ využívá matematického modelu MIMO. MIMO využívá vícecestného šíření k zvýšení propustnosti a dosahu nebo k snížení počtu přenosových bitových chyb.



Obr. 16 MIMO
Zdroj: [34]

Na obr. 16 je znázorněna komunikace využívající MIMO model. Pomocí dvou antén na každé straně komunikace je docíleno přibližně dvojnásobné propustnosti.

[31],[36]

3.7 4G

V roce 2008 byly institucí ITU - R specifikovány přesné požadavky pro sítě s označením 4G. Tyto požadavky vystupují pod standardem s označením IMT - Advanced. Jakožto hlavní požadavky byly stanoveny rychlosti download 1 Gbit/s pro mobilní stanice v klidu a 100 Mbit/s pro stanice v pohybu.

První protokoly, které byly označeny jako 4G jsou LTE (Long Term Evolution) a WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), nicméně ani jeden z těchto protokolů, ve své první verzi, nesplňovaly předepsané rychlosti pro 4G. Nicméně další verze těchto protokolů LTE - A a WiMAX2 už tyto podmínky splňují a mohou být tedy označeny jako protokoly sítě 4G.

[34],[35]

3.7.1 LTE-A

První uveřejnění LTE (Long Term Evolution) přineslo uveřejnění doporučení 3GPP Release 8 a následné doplnění v Release 9.

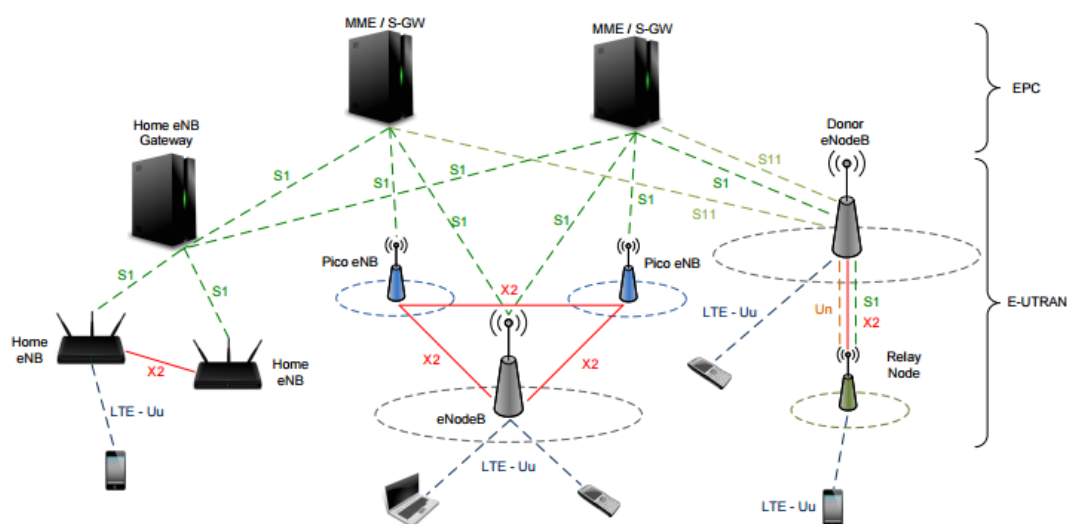
Mezi důvody pro vznik protokolu LTE patří:

- zvýšení rychlosti datového přenosu a vyšší účinnost spektra
- potřeba systému využívajícího pouze PS (Packet Switching)
- lepší QoS

Z důvodu již zmíněné nízké rychlosti standardu LTE pro označení 4G, se zanedlouho uveřejnilo doporučení 3GPP Release 10, ve kterém už byl popsán standard sítě LTE - A (LTE Advanced).

Aby LTE-A mohlo splňovat všechny požadavky, funguje na jiném systému, než protokoly 3G sítě. Radiovému systému této sítě se říká E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access), EPC (Evolved Packet Core) pak zastupuje jádro sítě. Co se logiky sítě týče, je prakticky totožná s UMTS. E-UTRA zde funguje jako zprostředkovatel komunikace mezi EPC a UE (User Equipment).

Jediným podstatným rozdílem mezi LTE a LTE-A, je přidání Relay Node a Femtobuněk do systému E-UTRAN, zobrazeném na obr. 17. Relay Node je jinými slovy opakovač, používaný v odlehlých místech pro posílení signálu. Případně je umístěn do míst, které jsou prakticky bez signálu (tunel, údolí).



Obr. 17 Struktura sítě LTE
Zdroj: [38]

[35],[38]

3.7.1.1 E-UTRAN

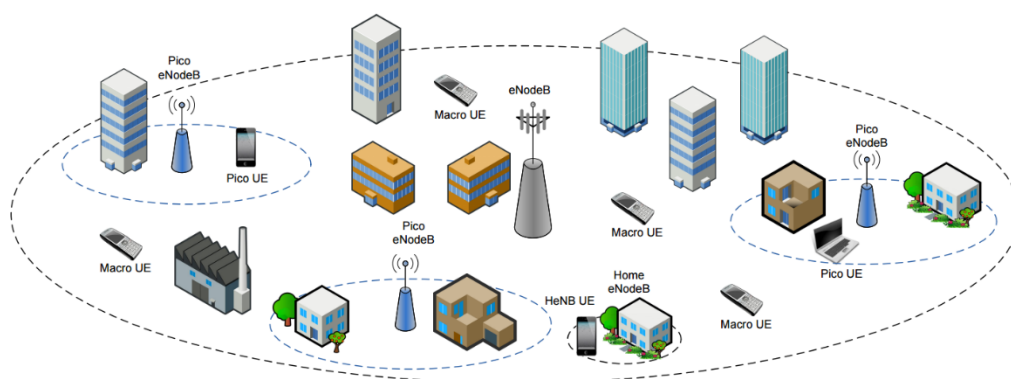
Subsystem E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) je složen z nízkovýkonových základových stanic Pico eNB (evolved Node B), základových stanic eNB. V LTE-A k těmto stanicím přibyly ještě domácí základové stanice Home eNB (femtobuňky) a Relay Node. Jednotlivé základové stanice jsou pak spojeny na rozhraní X2. Toto rozhraní slouží pro předávání informací o handover, zatížení, interferencích. Rozhraní S1 pak slouží pro datovou, případně signalizační, komunikaci mezi eNB a EPC a je založena na protokolu TCP/IP.

Funkce E-UTRAN je prakticky stejná jako UTRAN v UMTS, tedy přidělování radiových zdrojů, zabezpečení, měření atp.

[35],[38]

3.7.1.2 Heterogenní síť

Sítě LTE – A podporují nový typ koncepce mobilních sítí zvaný Heterogenní síť. Tento koncept je založen na využívání makrobuněk, pikobuněk, femtobuněk a Relay Node. Díky tomuto konceptu je dosaženo lepší kvality signálu, většího pokrytí, efektivnějšího využití spektra a zvýšení přenosových kapacit.



Obr. 18 Heterogenní síť v systému LTE – Advanced
Zdroj: [38]

Heterogenní síť je možné rozdělit na tři vrstvy. První vrstva je tvořena makrobuňkami (eNodeB), které pokrývají velkou oblast, pro velký počet uživatelů, ale nižší rychlostí. Do makrobuněk, je pak vložena vrstva druhá, která je tvořena pikobuňkami (Pico eNodeB). Ty mají za úkol obstarat menší počet uživatelů na menší ploše, což umožňuje lepší přenosové rychlosti. Třetí vrstva je tvořena femtobuňkami (Home eNodeB). Femtobuňky jsou navrženy za účelem poskytování vysokých rychlostí pro 3 až 5 uživatelů na malé ploše.

Velkou výhodou této koncepce je fakt, že femtobuňky a pikobuňky obstarávají nějaký počet uživatelů a tím ulehčují makrobuňce. Ta je pak schopna poskytovat kvalitnější připojení uživatelům mimo tyto menší buňky.

Typ stanice	Dosah pokrytí (m)	Uživatelská kapacita	Správa
eNodeB	350 - 2000	100 - 300	Operátor
Piko eNodeB	<100	10-50	Operátor
Home eNodeB	30 - 50	3-5	Uživatel
Relay Node	300	N/A	Operátor

Tabulka 8 Porovnání vysílačů v E-UTRAN
Zdroj: [38]

[35],[38]

3.7.1.3 Rychlosti LTE - A

K tomu, aby LTE – A mohlo nabývat vyšších přenosových rychlostí, než LTE, bylo zapotřebí několik úprav. Jednou z těchto úprav je rozšíření šířky pásma a sdílení spektra. V porovnání s LTE, je šířka pásma zvětšena až pětinasobně, z 20 MHz na 100 MHz. Toto umožňuje metoda Carrier Aggregation, která sdružuje radiové kanály. Druhou je pak vylepšení metody MIMO, kde byl navýšen počet možných anténních portů na osm. Kombinací metod MIMO a Carrier Aggregation je tedy možné u LTE – A dosáhnout teoretické rychlosti 3Gbit/s pro downlink a rychlosti 1,5 Gbit/s pro uplink.

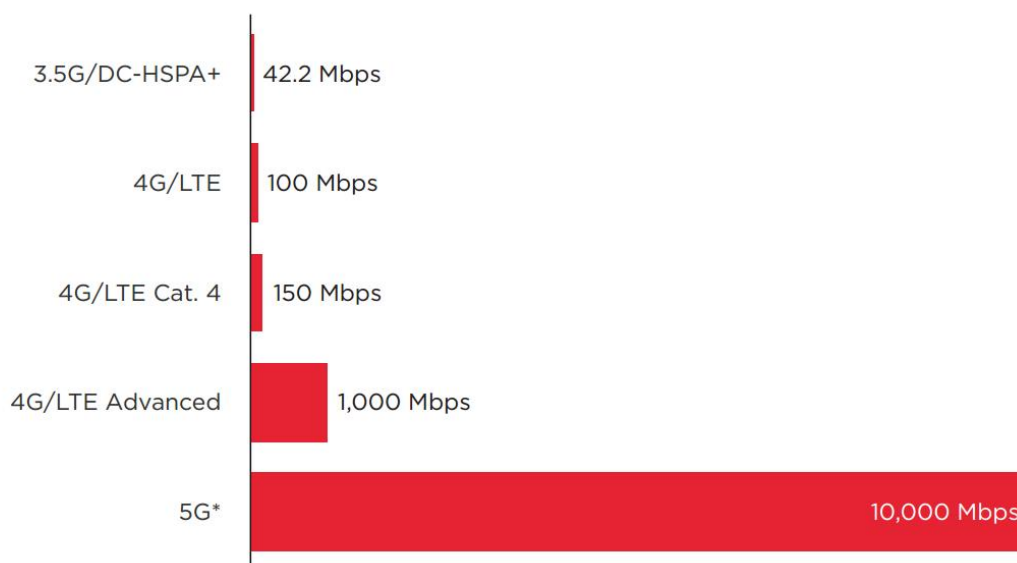
[34],[35]

3.8 5G

Ačkoliv ještě nikde na světě není kompletní pokrytí sítí 4G, tak z hlediska vývoje už se pomalu začíná uvažovat o konceptu sítí 5 generace. Všechno je sice zatím na začátku vývoje, ale už teď se uvažuje o vlastnostech, které by měly tyto nové sítě mít. Vezmeme-li v potaz i konkrétní mobilní zařízení, v dnešní době nejčastěji smartphony, tak jednou z jejich nevýhod je nízká výdrž baterie. Tomu se bude snažit napomoci právě koncept sítí 5G, který by měl přinést dva druhy konektivity:

- velice úspornou komunikaci pracující na malých rychlostech
- velmi rychlou přenosovou komunikaci na krátkou vzdálenost

Tyto sítě by měli mít jednu velkou i pro samotné poskytovatele mobilních sítí, protože by měly vycházet přímo ze sítě LTE. Zásahy do sítě by neměly být skoro vůbec hardwarového rázu, ba naopak by mělo v mnoha případech jít jen o softwarový update. Že je 5G technologie budoucnosti značí i snaha některých výrobců vytvářet multifunkční objekty z běžného života ve spojení s mobilními sítěmi. Příkladem může být pouliční lampa kombinovaná se stanicí BTS, která je schopna poskytnout signál prakticky jakémukoliv typu sítě.

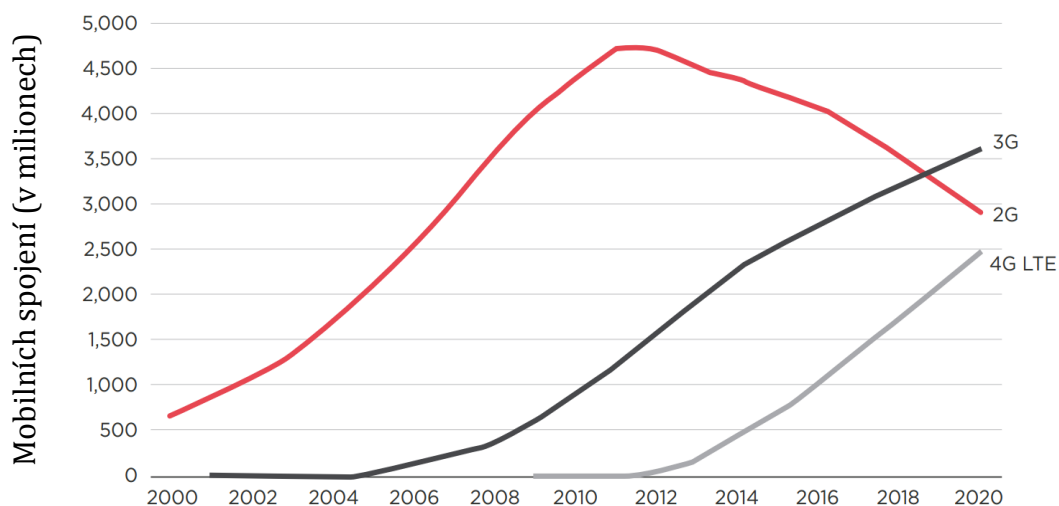


Obr. 19 Porovnání rychlosti 5G s předchozími generacemi
Zdroj: [38, s. 11]

[36],[38]

3.9 Porovnání mobilních generací

Od začátku mobilních sítí uplynulo více jak 30 let. Za tu dobu prošlo vývojem velká spousta mobilní zařízení, předpisů, standardů, metod a spousta dalších věcí, spojená nejen s telekomunikací. V rámci dnešní potřeby je důležitých zejména několik protokolů.



Obr. 20 Změna využití mobilních sítí z pohledu generací
Zdroj: [38, s. 21]

Generace	Označení	Teoretická rychlost download	Teoretická rychlost upload
2G	GSM	14,4 Kbit/s	14,4 Kbit/s
2,5G	GPRS	53,6 Kbit/s	26,8 Kbit/s
2,75G	EDGE	217,6 Kbit/s	108,8 Kbit/s
3G	UMTS	384 Kbit/s	128 Kbit/s
3,5G	HSPA	7,2 Mbit/s	3,6 Mbit/s
3,75G	HSPA+		
	R6	14,4 Mbit/s	5,76 Mbit/s
	R7	21,1 Mbit/s nebo 28 Mbit/s	11,5 Mbit/s
	R8	42,2 Mbit/s	11,5 Mbit/s
	R9	84,4 Mbit/s	11,5 Mbit/s
	R10	168,8 Mbit/s	23,0 Mbit/s
3,99G	LTE	100,0 Mbit/s	50,0 Mbit/s
4G	LTE - A	3,0 Gbit/s	1,5 Gbit/s

Tabulka 9 Aktuálně používané protokoly

Zdroj: [12]

	Primární služba	Vylepšení	Slabé stránky
1G	Analogový hovor	Mobilita	Špatné hospodaření se spektrem, zabezpečení
2G	Digitální hovor + zprávy	Zabezpečení	Limitovaná data
3G	Hovor + zprávy + data	Lepší datové přenosy	Počáteční nápor uživatelů, selhání WAP protokolu
3,5G	Hovor + zprávy + data	Širokopásmový internet	Omezení z hlediska architektury
4G	Pouze IP (Hovor + zprávy + data)	Rychlejší širokopásmový internet, nižší odezva	Zatím nejsou známy

Tabulka 10 Rozdíly pro jednotlivé generace

Zdroj: [38, s. 5]

4 Pokrytí českých operátorů

Pro získání konkrétní představy pokrytí mobilních operátorů České republiky byly využity mapy poskytované Českým telekomunikačním úřadem (ČTÚ). Nicméně mapy zobrazené níže nejsou obrazem reálného pokrytí, ale pokrytí je vypočítáno za pomoci matematických modelů šíření signálu. Je tedy pravděpodobné, že reálné pokrytí se může lišit, zejména v oblastech s velkou zástavbou nebo v oblastech s různorodým profilem terénu. Dalším faktorem mohou být i vlastnosti přijímače.

[10]

4.1 Matematický model ČTÚ

Model, za jehož pomoci se vypočítává pokrytí mobilních sítí je sestaven podle doporučení ITU-R P.1812 (Release 3). Dle tohoto doporučení je tento point-to-area model nejpřesnějším modelem, který je k dispozici.

Pokrytí se vypočítává pro dvě úrovně:

- Základní vnitřní pokrytí – Tato úroveň počítá s průměrným útlumem radiového signálu, zapříčiněného průchodem signálu budovou.
- Robustní vnitřní pokrytí - Tato úroveň počítá se zvýšením intenzity elektromagnetického pole o 10 dB, což zajišťuje rezervu pro výpočet pokrytí uvnitř většiny budov.

Pásmo	Intenzita pole pro základní vnitřní pokrytí [dBuV/m]	Intenzita pole pro robustní vnitřní pokrytí [dBuV/m]
800 MHz (LTE)	57	67
900 MHz (LTE)	58	68
1800 MHz (LTE)	66	76
2100 MHz (LTE)	69	79
2100 MHz (UMTS)	67	77
2600 MHz (LTE)	71	81

Tabulka 11 Limitní intenzity elektromagnetického pole

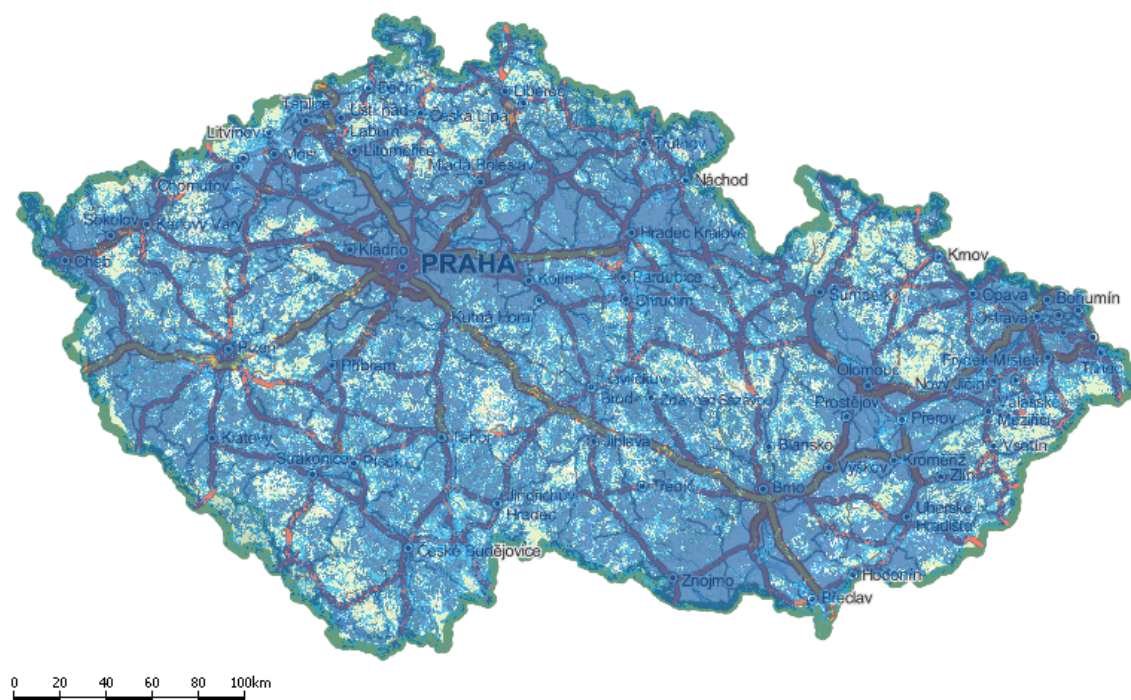
Zdroj: [10]

Doporučení ITU-R P.1812 pro správné vyhodnocení pokrytí, požaduje limitní hodnotu elektromagnetického pole. Tabulka 11. popisuje limitní hodnoty pro jednotlivá frekvenční pásma.

[10]

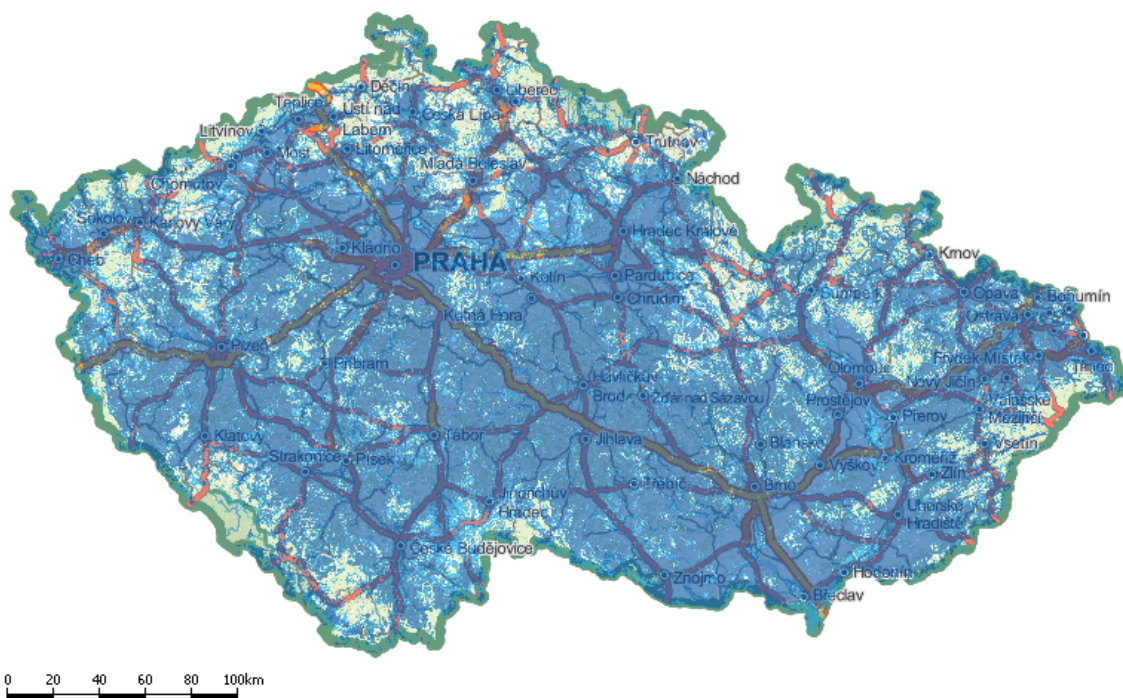
4.2 Celorepublikové pokrytí českých operátorů

Všechny mapy níže zobrazují pokrytí českých operátorů (Vodafone, T-Mobile a O2) ke dni 16. 4. 2015. Do map jsou zahrnuty standardy 3G a to konkrétně UMTS-2100, LTE-800 a LTE-1800 pro všechny tři operátory. Vodafone dále využívá ještě LTE-900 a LTE-2100.

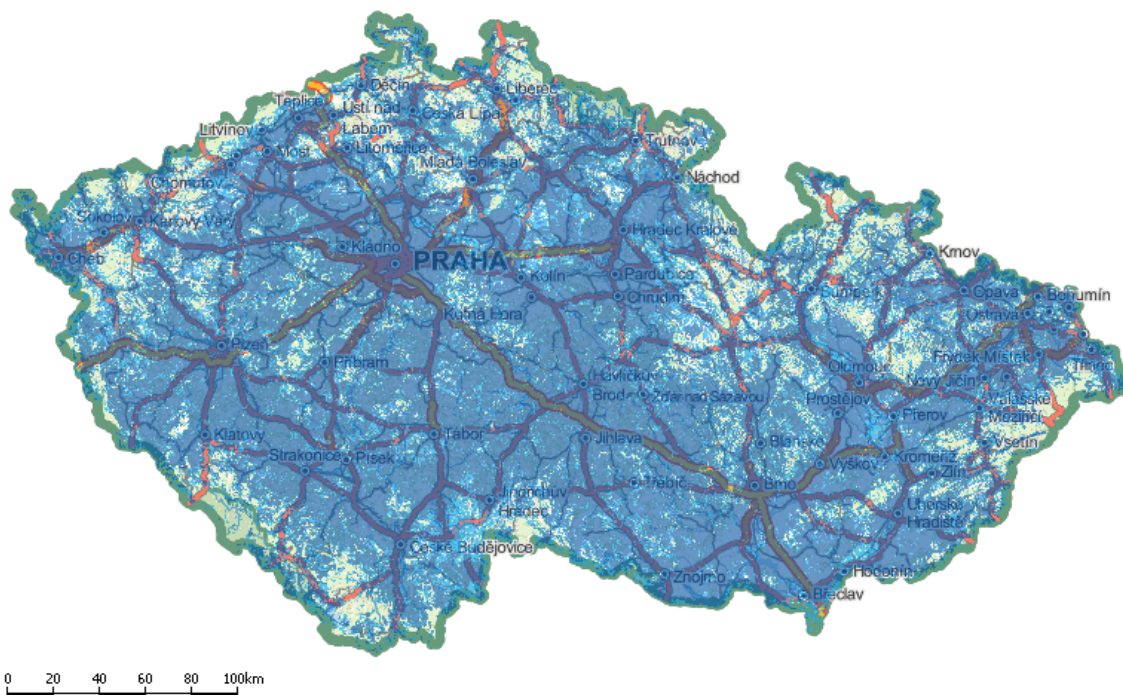


Obr. 21 Pokrytí Vodafone

Zdroj: [10]



Obr. 22 Pokrytí O2
Zdroj: [10]

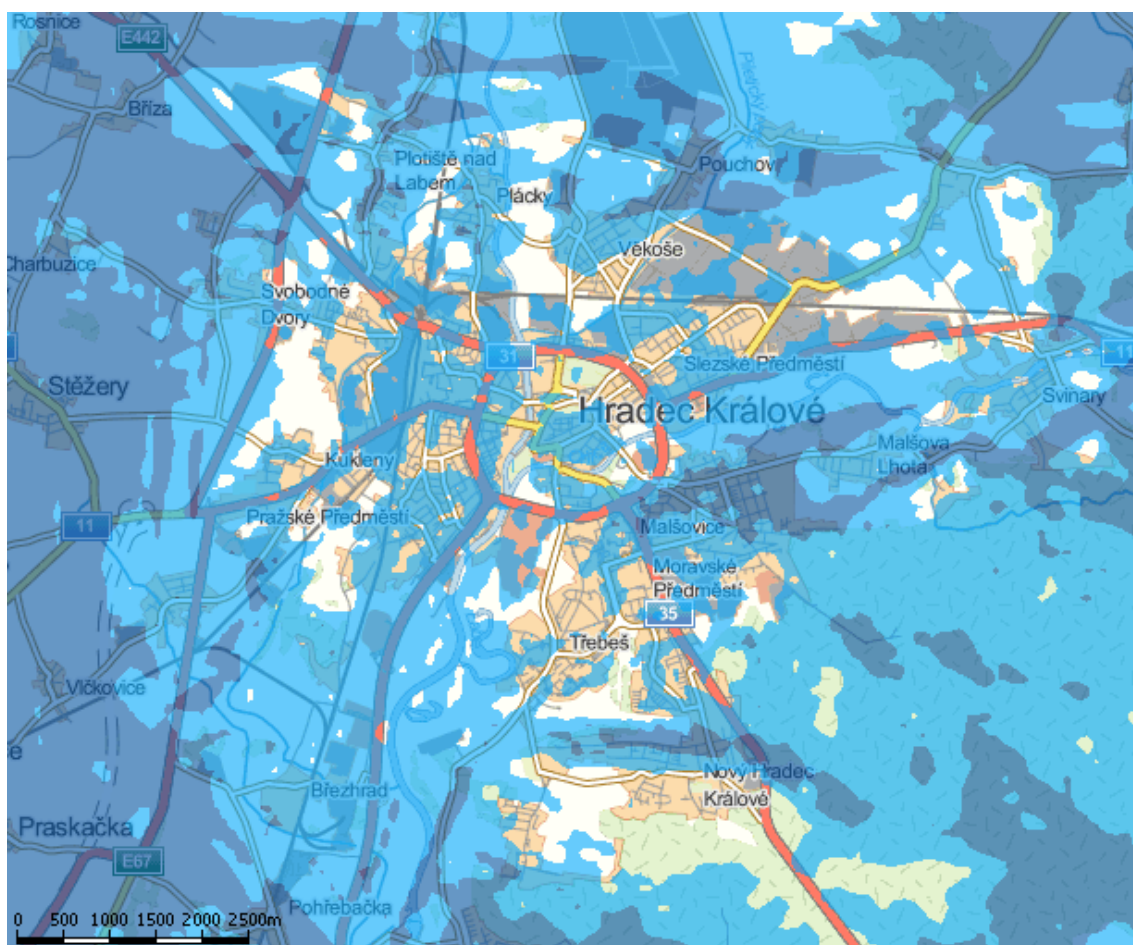


Obr. 23 Pokrytí T-Mobile
Zdroj: [10]

Jak je patrné z obr. 22. a 23., O2 spolu s T-Mobile sdílí poměrně velkou část vysílačů a proto se jejich pokrytí zdá prakticky identické.

Tito operátoři sdílí své vysílači i v rámci Královehradeckého kraje. Právě Královehradecký kraj, konkrétně město Hradec Králové, byl zvolen jako cíl měření v rámci této bakalářské práce. Níže je tedy zobrazeno pokrytí operátorů T-Mobile a O2 pouze jedinou mapou.

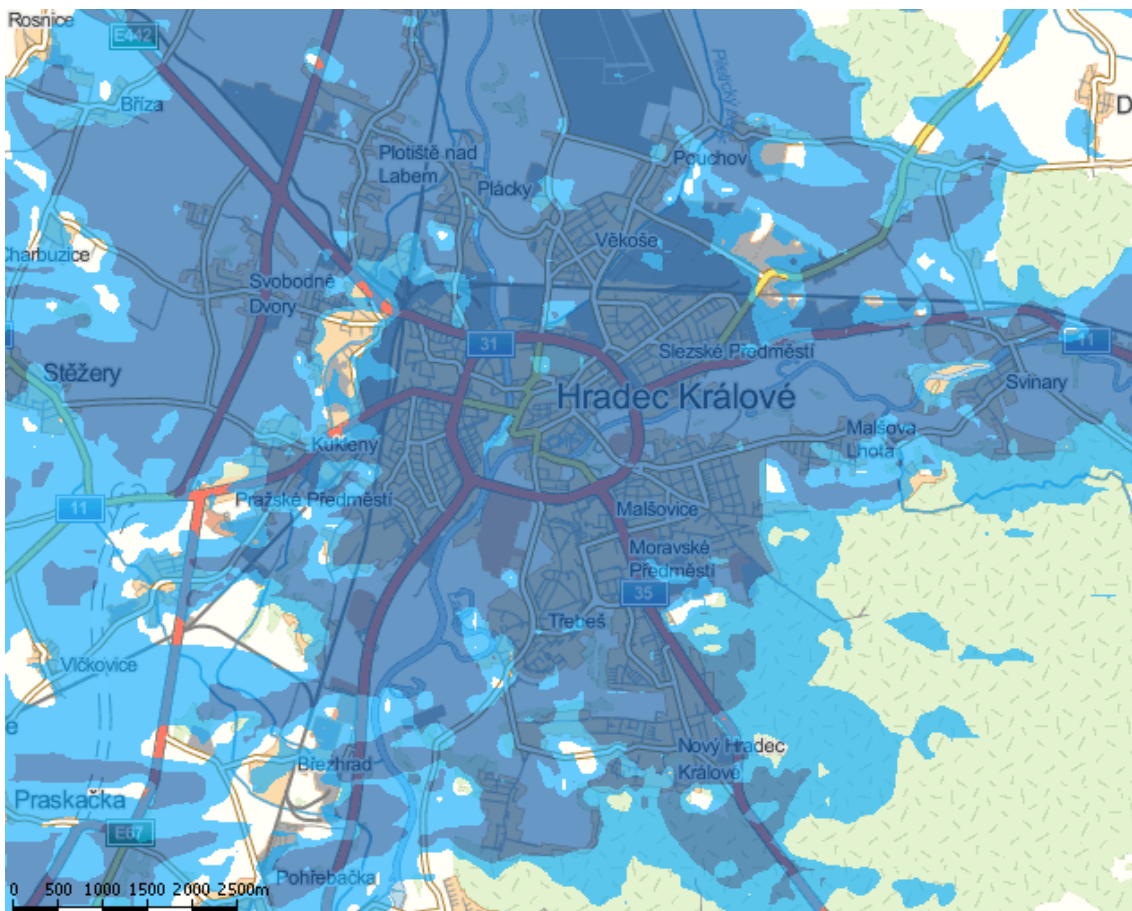
Vzhledem k faktu, že všichni tři operátoři dosahují v oblasti Hradce Králové plného pokrytí pro UMTS-2100, je zobrazeno pouze pokrytí LTE-800 pro sítě T-Mobile a O2 a LTE-2100 pro Vodafone.



Obr. 24 Pokrytí T-Mobile a O2 - LTE-800 v Hradci Králové

Zdroj: [10]

Na obr. 24 je vidět částečné pokrytí sítí LTE ve středu města a dále pak v okrajových částech města. Kvalitě reálného signálu se věnuje další kapitola.



Obr. 25 Pokrytí Vodafone v Hradci Králové
Zdroj: [10]

Dle ČTÚ dosahuje Vodafone v rámci Hradce Králové kompletního pokrytí UMTS-2100 i LTE-2100.

Jak je patrné Vodafone využívá frekvenci 2100MHz jak pro síť UMTS, pro kterou bylo původně pásmo získáno, tak i LTE. Vodafone k tomu dostal souhlas od ČTÚ v roce 2014. Důvodem byl rychlejší přechod na síť LTE.

[22]

5 Měření v Královehradeckém kraji

V dnešní době je trendem mobilních operátorů nabízet „super-rychlí“ nebo „4G“ mobilní internet. Tyto názvy jsou značně zavádějící, jelikož produkt, který operátoři nabízejí, je síť LTE. Nejedná se tedy o síť čtvrté generace, ale pořád o síť generace třetí. Tato síť nabývá v teoretických hodnotách rychlostí 100,0 Mbit/s pro download a 50 Mbit/s pro upload. Druhým zástupcem pro ČR, uváděným občas jako „super-rychlá“ síť je technologie HSPA+, konkrétně Release 8, dosahující teoretických rychlostí 42,2 Mbit/s download a 11,5 Mbit/s upload. Hlavní předpokladem pro využití těchto sítí je samozřejmě kompatibilní mobilní zařízení, včetně SIM karty podporující tuto síť.

Hlavním cílem této části, bude ověření pokrytí všech tří operátorů na základě dat poskytovaných ČTÚ a následné měření rychlostí pro daná místa v Hradci Králové. Jelikož jsou hodnoty rychlostí uváděna teoreticky, bude se měření provádět vícekrát pro jedno místo, ale v jiný čas.

Vzhledem k faktu, že je nutné kompatibilní zařízení pro dosažení správných výsledku, bylo zvoleno zařízení Huawei Y550, podporující frekvence používané v rámci ČR.

5.1 Metodika měření

Měření na zařízení Huawei Y550, pracujícího na systému Android 4.4 KitKat, bylo prováděno pomocí dvou aplikací. Samotné aplikace jsou popsány v kapitole níže.

Testování dostupnosti protokolů proběhlo pro celou testovanou oblast najednou pro každého operátora. Testování rychlostí pak bylo prováděno v co nejkratším časovém intervalu, řádově minuty, pro všechny operátory, aby měření probíhalo v přibližně stejných podmínkách. Měření se provádělo pro O2, Vodafone a T-Mobile, kde síť T-Mobile byla zastoupena virtuálním operátorem Mobil.cz.

5.2 Měřicí zařízení a datové tarify

Zařízení Huawei Y550 podporuje následující frekvence LTE:

- 800 MHz - Plně kompatibilní s O2, T-Mobile, Vodafone, Cat. 20.,
- 900 MHz - Plně kompatibilní s Vodafone, Cat. 8.,
- 1800 MHz - Plně kompatibilní s O2, T-Mobile, Vodafone, Cat. 3.,
- 2100 MHz, 2600 MHz - Plně kompatibilní s O2, T-Mobile, Vodafone, Cat. 7.

Dále podporuje nižší datové protokoly GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+.

Jako datové tarify pak byly zvoleny:

- Mobil.cz - Rychlý giga
- O₂ - Internet v mobilu M
- Vodafone - INTERNET NA MĚSÍC 1,5 GB

Paušály umožňují plně využívat datové připojení, bez předem nastaveného omezení rychlosti ze strany operátora a bez ovlivnění FUP(Fair User Policy).

5.3 Měřicí aplikace

První aplikací používanou pro měření je G-NetTrack. Aplikace je vytvořená pro operační systém Android 2.2 a jeho vyšší verze. Hlavním zaměřením této aplikace je monitorování a možné logování veškerých změn týkajících se mobilní sítě, které na mobilním zařízení probíhají.

Tato aplikace byla zvolena právě kvůli možnosti logování, kdy zápis do logu proběhne jen při změně nějakého parametru. Pro měření bylo nastavení sledování změny využívané mobilní technologie nebo změna buňky. Do logu pak byly zapsány souřadnice, čas, operátor, generace sítě a využívaná technologie.

Pro komplexnější měření by bylo možné logovat i další údaje jako ID buňky, sílu signálu, šum a mnoho další údajů. Tyto údaje pro měření v rámci této práce však nebyly podstatné. V případě nutnosti podrobnějšího měření s více funkcemi je nabízena i placená verze aplikace.

Druhou aplikací je pak Speedtest. Tato aplikace je použita pro měření rychlosti download/upload a ping. Aplikace byla zvolena zejména kvůli možnosti si zvolit server, se kterým bude měření prováděno. To byl z hlediska dosažení stejných podmínek hlavní důvod pro právě tuto aplikaci. Jako výchozí server, se kterým aplikace pracuje, byl zvolen Trutnov (INTERNETNONSTOP).



Obr. 26 Ukázka měřících aplikací
Zdroj: [vlastní zpracování]

5.4 Testování mobilní sítě

Testování je rozděleno na pokrytí operátorů a testy samotných rychlostí datového toku (download/upload) a odezvu na měřící server.

5.4.1 Pokrytí operátorů

První testy byly provedeny za účelem ověření pokrytí uváděného na stránkách ČTÚ. Výsledný výpis z logu po měření Vodafone kartou prozradil přibližně 97% pokrytí technologií LTE, s tím, že zbylých 3% je pokryto technologií HSPA nebo

HSPA+. HSPA a HSPA+ se vyskytovaly výhradně v místech s horším dosahem signálu celkově např. garáže v nákupním centru Futurum, či jiné nevenkovní oblasti.

Timestamp	Longitude	Latitude	Operatorname	NetworkTech	NetworkMode
2015.04.17_16.03.58	15.830163	50.191134	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.03.59	15.830259	50.190978	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.03.59	15.830259	50.190978	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.00	15.830368	50.190858	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.00	15.830368	50.190858	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.01	15.830485	50.190729	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.02	15.830581	50.190561	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.03	15.830665	50.190406	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.04	15.830763	50.190272	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.05	15.830839	50.190145	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.06	15.830915	50.189994	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.07	15.830957	50.189848	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.08	15.831024	50.189710	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.09	15.831061	50.189552	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.10	15.831143	50.189418	Vodafone_CZ	4G	LTE
2015.04.17_16.04.11	15.831143	50.189418	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.12	15.831213	50.189163	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.13	15.831229	50.189028	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.15	15.831284	50.188797	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.17	15.831282	50.188554	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.19	15.831252	50.188331	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.21	15.831255	50.188087	Vodafone_CZ	3G	HSPA
2015.04.17_16.04.23	15.831243	50.187869	Vodafone_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_16.04.25	15.831221	50.187675	Vodafone_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_16.04.27	15.831201	50.187506	Vodafone_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_16.04.33	15.831288	50.187381	Vodafone_CZ	3G	HSPA

Obr. 27 Výpis z měření operátora Vodafone

Zdroj: [vlastní zpracování]

Timestamp	Longitude	Latitude	Operatorname	NetworkTech	NetworkMode
2015.04.17_15.46.56	15.833208	50.209209	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.46.57	15.833095	50.209288	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.47.45	15.832976	50.209409	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.47.49	15.832711	50.209441	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.47.52	15.832485	50.209446	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.47.56	15.832215	50.209449	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.00	15.831942	50.209478	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.04	15.831737	50.209519	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.08	15.831486	50.209591	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.12	15.831256	50.209648	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.16	15.831129	50.209821	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.18	15.831129	50.209821	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.19	15.831100	50.209968	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.22	15.830984	50.210093	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.25	15.830860	50.210209	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.28	15.830714	50.210328	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.32	15.830556	50.210477	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.37	15.830350	50.210554	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.49.05	15.830350	50.210554	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.12	15.830140	50.210517	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.15	15.830037	50.210368	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.18	15.829963	50.210198	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.21	15.829902	50.210052	02-CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.49.51	15.829902	50.210052	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.52	15.829902	50.210052	02-CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.50.18	15.829776	50.209943	02-CZ	3G	UMTS

Obr. 28 Výpis z měření operátora O2

Zdroj: [vlastní zpracování]

Výpisy z logu pro O2 odhalily, že pokrytí technologií LTE není v Hradci žádné. Místo toho, je zde pokrytí pouze UMTS a HSPA+. Kde pokrytí technologií HSPA+ je zhruba 98% a zbylých 2% pokrývá technologie UMTS.

Pokrytí pouze technologií UMTS je minimální a vyskytuje se jen v případech, kdy je uživatel s mobilním zařízením například uvnitř budovy, nebo v jiných nevenkovních prostorech.

Jako poslední bylo zjišťování pro síť T-Mobile (Mobil.cz). Pro síť T-Mobile bylo zjištěno, že v Hradci Králové není žádné pokrytí technologií LTE. Technologie, které zde byly změřeny, jsou pouze HSPA+ s 98% zastoupením a UMTS se zbylými 2%.

Timestamp	Longitude	Latitude	Operatorname	NetworkTech	NetworkMode
2015.04.17_15.46.56	15.833208	50.209209	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.46.57	15.833095	50.209288	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.47.45	15.832976	50.209409	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.47.49	15.832711	50.209441	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.47.52	15.832485	50.209446	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.47.56	15.832215	50.209449	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.00	15.831942	50.209478	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.04	15.831737	50.209519	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.08	15.831486	50.209591	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.12	15.831256	50.209648	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.16	15.831129	50.209821	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.18	15.831129	50.209821	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.19	15.831100	50.209968	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.48.22	15.830984	50.210093	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.25	15.830860	50.210209	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.28	15.830714	50.210328	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.32	15.830556	50.210477	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.48.37	15.830350	50.210554	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.49.05	15.830350	50.210554	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.12	15.830140	50.210517	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.15	15.830037	50.210368	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.18	15.829963	50.210198	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.21	15.829902	50.210052	Mobil_CZ	3G	UMTS
2015.04.17_15.49.51	15.829902	50.210052	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.49.52	15.829902	50.210052	Mobil_CZ	3G	HSPA+
2015.04.17_15.50.18	15.829776	50.209943	Mobil_CZ	3G	UMTS

Obr. 29 Výpis z měření operátora T-Mobile (Mobil.cz)

Zdroj: [vlastní zpracování]

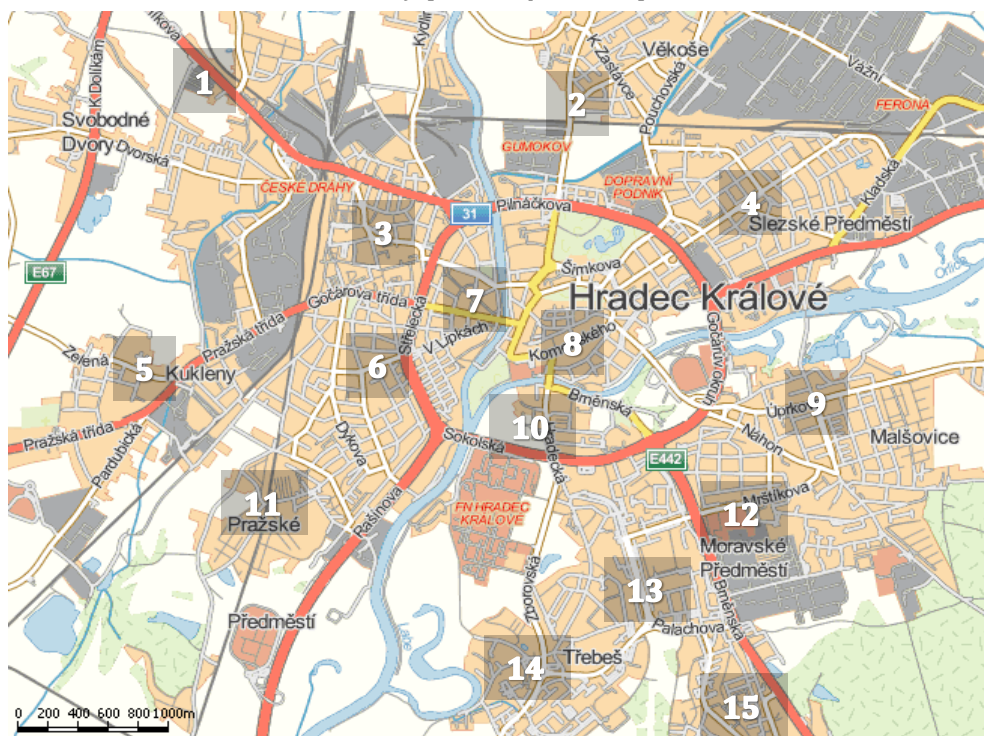
5.4.2 Testy rychlostí

Pro testování rychlostí bylo zvoleno 15 oblastí, které mohou v konečném výsledku vytvořit hrubou představu o vytížení sítě v určených místech a případně i vypovídat o efektivitě použitých mobilních technologií.

Oblast	Ulice, ČP
1	Koutníková 60
2	Spořilovská 282/1
3	Blažičkovo náměstí 446/3
4	třída SNP 2
5	Zelená 133/9
6	V Lipkách 7
7	Masarykovo náměstí
8	Velké náměstí
9	Úprkova 29/41
10	Hradecká 1249/6
11	Bezručova 77/77
12	Brněnská 1825
13	Třída Edvarda Beneše 1423/21
14	Ve Stromovce 714/4
15	Milady Horákové 52

Tabulka 12 Adresy oblastí vybrané pro měření

Zdroj: [vlastní zpracování]



Obr. 30 Oblasti zvolené k otestování přenosových rychlostí

Zdroj: [vlastní zpracování]

Z principu fungování datových sítí vyplývá i fakt, že při větším zatížení sítě klesají přenosové rychlosti použitých technologií. Z tohoto důvodu byly pro každou lokaci provedeny dva testy.

První test pro dopolední hodiny od 9:00 – 10:00 a druhý test pro odpolední hodiny od 17:00 – 18:00. Výsledky uvedené v tabulce jsou průměrem rychlostí zachycených aplikací Speedtest v rámci jednoho měřeného úseku.

Oblast	Technologie	Dopolední měření (Mbit/s)			Odpolední měření (Mbit/s)		
		Down	Up	Ping	Down	Up	Ping
1	LTE	54,23	20,11	32	50,74	19,96	37
2	LTE	49,65	18,67	45	34,86	15,33	48
3	LTE	34,21	13,47	56	38,29	12,59	49
4	LTE	49,31	19,02	38	37,20	14,70	51
5	LTE	52,34	20,32	36	47,84	19,32	39
6	LTE	41,72	18,24	42	43,28	18,71	40
7	LTE	33,93	12,72	53	39,41	11,54	51
8	LTE	37,50	18,64	55	43,50	20,38	41
9	LTE	46,18	17,65	39	37,26	11,26	67
10	LTE	31,46	12,98	64	40,43	18,63	42
11	LTE	49,39	19,76	39	53,71	20,36	38
12	LTE	41,98	18,01	42	38,41	13,57	46
13	LTE	50,64	19,86	38	33,21	12,54	53
14	LTE	49,43	18,36	46	37,97	14,01	49
15	LTE	53,38	20,03	35	35,22	13,96	42

Tabulka 13 Výsledky měření pro operátora Vodafone
Zdroj: [vlastní zpracování]

Oblast	Technologie	Dopolední měření (Mbit/s)			Odpolední měření (Mbit/s)		
		Down	Up	Ping	Down	Up	Ping
1	HSPA+	15,49	2,33	42	16,01	2,45	43
2	HSPA+	14,23	2,87	53	11,38	2,12	68
3	HSPA+	12,01	2,13	78	13,72	2,36	61
4	HSPA+	16,91	2,93	39	14,37	2,29	43
5	HSPA+	17,34	3,03	37	11,34	2,21	79
6	HSPA+	13,57	2,19	67	17,02	2,38	95
7	HSPA+	12,35	2,10	86	18,57	2,76	54
8	HSPA+	11,49	2,13	103	16,23	2,26	41
9	HSPA+	16,79	2,86	51	14,74	2,85	46
10	HSPA+	9,63	1,98	109	10,76	2,09	98
11	HSPA+	16,98	2,78	43	17,34	2,82	39
12	HSPA+	14,34	2,18	107	14,74	2,14	127
13	HSDPA	7,12	1,88	71	2,36	0,47	50
14	HSDPA	6,71	1,44	56	5,31	2,69	40
15	HSPA+	17,22	2,99	51	12,41	2,10	91

Tabulka 14 Výsledky měření pro operátora O2
Zdroj: [vlastní zpracování]

Oblast	Technologie	Dopolední měření (Mbit/s)			Odpolední měření (Mbit/s)		
		Down	Up	Ping	Down	Up	Ping
1	HPSA+	14,29	2,48	50	15,78	2,33	47
2	HPSA+	14,54	2,90	50	11,35	2,08	64
3	HPSA+	12,13	2,01	84	13,99	2,46	60
4	HPSA+	17,12	3,00	45	14,02	2,13	71
5	HPSA+	17,28	3,31	41	11,12	2,49	84
6	HPSA+	14,00	2,13	64	17,23	2,86	63
7	HPSA+	13,28	2,11	101	19,26	2,43	61
8	HPSA+	9,49	1,68	129	17,54	2,38	103

9	HPSA+	16,79	2,86	51	12,37	2,12	117
10	HPSA+	9,63	1,98	109	11,34	2,12	130
11	HPSA+	17,39	2,97	48	18,65	2,78	65
12	HPSA+	15,48	2,10	84	15,21	2,19	79
13	HPSA+	15,89	2,56	49	4,87	1,75	70
14	HPSA+	14,17	2,65	61	11,32	2,30	85
15	HPSA+	17,01	3,12	46	9,83	1,66	97

Tabulka 15 Výsledky měření pro operátora T-Mobile (Mobil.cz)

Zdroj: [vlastní zpracování]

K naměřeným hodnotám pro místa 10,13,14 je nutné doplnit, že měření bylo prováděno v budovách. Jak je patrné z tabulek, tak právě na těchto místech docházelo ke ztrátě přenosové rychlosti, případně ke změně technologie, jak je názorně vidět u operátora O₂.

Dále lze pozorovat rozdílné hodnoty mezi lokacemi uvnitř města a na okraji města. Lokace 3, 6, 7, 8 a 10 jsou rozložena uvnitř města. Tyto lokace jsou především vytíženy v dopoledních hodinách, a proto je i dosahováno menších naměřených hodnot. Naopak v odpoledních hodinách už počet účastníků, využívající mobilní sítě, v těchto místech klesá, takže jsou naměřeny hodnoty vyšší.

	Download (Mbit/s)	Upload (Mbit/s)	Ping (ms)
Vodafone	42,89	16,82	45
O ₂	13,28	2,32	66
T-Mobile (Mobil.cz)	14,08	2,4	74

Tabulka 16 Průměr naměřených hodnot pro jednotlivé operátory

Zdroj: [vlastní zpracování]

6 Výsledky práce

Cílem bakalářské práce bylo objasnění základních pojmů týkajících se mobilních sítí a prozkoumání aktuální situace mobilních sítí všech Českých operátorů pro město Hradec Králové. Na základě map, poskytovaných ČTÚ, ověřit přesnost matematického modelu používaného ke znázornění mobilního pokrytí České republiky, konkrétně města Hradec Králové. Dále pak zjištění závislostí mobilních technologií na poloze mobilního zařízení a na míře vytížení mobilní sítě.

Bylo prokázáno, že pokrytí mobilních sítí pro operátora Vodafone odpovídá údajům uvedeným na stránkách ČTÚ. Tento operátor dosahuje pro město Hradec Králové kompletního pokrytí technologií LTE. Naopak údaje uváděné pro operátory O2 a T-Mobile jsou chybné. Ani jednomu z těchto dvou operátorů nebylo prokázáno pokrytí technologií LTE na území města Hradec Králové. Pro tyto operátory však bylo potvrzeno sdílení mobilních sítí. Ze zjištěných údajů mají oba operátoři okolo 97,5% pokrytí technologií HSPA+ a zbylé procenta pak technologií UMTS.

Dále byla prokázána závislost rychlosti datového přenosu použité technologie na vytíženosti sítě v místě, kde se měření provádělo. Vnitřní části města jsou více vytížena v dopoledních hodinách a naopak vnější části jsou spíše vytížena v odpoledních hodinách. Z těchto poznatků lze potvrdit, že při větší zátěži mobilní sítě, klesají hodnoty přenosových rychlostí, někdy až o 60%.

Jako poslední bylo porovnání reálných naměřených hodnot jednotlivých technologií s hodnotami uváděnými v rámci standardu dané technologie, tedy teoretickými rychlostmi. Výsledné porovnání rychlostí dopadlo, dle očekávání. Reálné hodnoty jsou zhruba okolo 70% nižší, než hodnoty teoretické.

Závěrem je možné říci, že hypotéza H1 je potvrzena, protože pokrytí technologií LTE pro operátory T-Mobile a O2 není v tuto chvíli v Hradci Králové dostupné. Hypotézu H2, lze na základě provedených měření také potvrdit. Reálné hodnoty dosahují nižších hodnot, než jsou uváděny teoretické hodnoty.

7 Závěry a doporučení

Mobilní technologie jsou v moderní době jedním z nejvíce a nejrychleji se rozvíjejících technologických odvětví. S těmito technologiemi přicházíme do styku dennodenně a pravdou je, že dnešní dobu si bez těchto technologií už ani nelze představit. Cílem této práce bylo vysvětlení základních pojmů a principů týkajících se těchto technologií od začátků vývoje, až po plány, kam by se mobilní technologie mohly vyvíjet v budoucnu. Hlavními teoretickými částmi bylo vymezení pojmů jako buňkový princip sítí, přenosové technologie, rozdělení mobilních generací a technologie do nich spadající.

V praktické části bakalářské práce byly provedeny testy, které měly zjistit přesnost map ČTÚ, zobrazujících pokrytí technologií LTE pro jednotlivé operátory. Dále bylo součástí praktické části měření download a upload přenosových rychlostí. Tato měření byla prováděna na několika místech v Hradci Králové a to pro právě dostupnou technologii. Všechny tyto testy byly prováděny pro každého ze tří hlavních Českých operátorů a to za co nejvíce podobných podmínek. Tyto testy samozřejmě nemohou být úplně směrodatné a stoprocentně průkazné. Je tomu tak z důvodu nemožnosti zajistit stejný počet aktuálně připojených uživatelů pro danou BTS nebo nějak zjistit a ověřit daný počet uživatelů. Tato skutečnost nebyla na začátku plně známa. Proto není možné počítat se stejnou vytížeností sítě, přesněji dané BTS. Dochází tedy k nepřesnostem v měření, kterým nelze nijak předejít. Navzdory tomuto faktu, však bylo možné na základě změřených údajů vyzorovat větší vytížení některých BTS v závislosti na čase, ve kterém bylo měření prováděno. V některých případech u technologií HSPA+ a HSDPA byly rozdíly v rychlostech i v rámci stejné technologie překvapivě veliké. Naopak nová technologie LTE se ukázala jako překvapivě stabilní, bez žádných větších výkyvů.

Problematika mobilních sítí je velice rozsáhlé téma a možností dalšího vývoje je každým dne více. Z dlouhodobého hlediska se dá předpokládat, že mobilní datové sítě zaujmou dominantní pozici i na poli internetového připojení pro ostatní elektronická zařízení, alespoň pro koncové uživatele, jelikož rychlosti a stabilita poslední technologii LTE je na dobré cestě a LTE-A by měla poskytnout ještě rychlejší a stabilnější připojení.

8 Seznam použité literatury

- [1] 3GPP: About 3GPP[online]. [cit. 30. 12. 2004]. Dostupné z: <<http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>>
- [2] ANKEL, Paer, Jan LINDSKOG a Rikard KAEER. Tti channel arrangement and ue to channel assignment. Google Patents [online]. 2009. Dostupné z: <<http://www.google.com/patents/WO2009082310A1?cl=en>>
- [3] ANONYM. HSDPA Categories. Slideshare [online]. 2011. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/jananiit_88/hspa-and-hspa-7145403>
- [4] ANONYM. Multiple Access Techniques. ANAND K, Lakshmi. The Web's Where You Study In! [online]. 2008 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.ustudy.in/node/7094>>
- [5] ANONYM. Push-to-talk – technologie, které odzvonilo. In: Mobilmania [online]. 24. 7. 2010 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <<http://mobilovinky.blog.mobilmania.cz/2010/07/push-to-talk-%E2%80%93-technologie-ktere-odzvonilo/>>
- [6] ANONYM. The Post Office Radiophone Service. Storno [online]. 28. 9. 2005 [cit.2015-03-05]. Dostupné z: <<http://www.storno.co.uk/radiophone.htm>>
- [7] ANONYM. What is Mobile Radio Telephone System or 0G. In: Clear Your Doubts [online]. [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: <<http://www.cleardoubts.com/technology/what-is-mobile-radio-telephone-system-or-0g-and-what-is-0-5g/>>
- [8] ATDI, INC. General Consideration in Wimax Technologies. ATDI, INC. ATDI [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <<http://www.atdi.us.com/generalWimax.php>>
- [9] BHALLA, Mudit Ratana a Anand Vardhan BHALLA. Generations of Mobile Wireless Technology: A Survey [online]. 5. vyd. 4. 8. 2010[cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <<http://ijcaonline.net/volume5/number4/pxc3871282.pdf>>
- [10] ČTÚ. Veřejné širokopásmové mobilní sítě. Český telekomunikační úřad [online]. 2014 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <<http://lte.ctu.cz/>>
- [11] HRON, Michal. Mobil tu byl již za totality: automatizovaný městský radiotelefon. In: [Http://mobil.idnes.cz/](http://mobil.idnes.cz/) [online]. 16. 11. 2007 [cit. 2015-03-

- 06]. Dostupné z: <http://mobil.idnes.cz/mobil-tu-byl-jiz-za-totality-automatizovany-mestsky-radiotelefon-10s-/mob_tech.aspx?c=A071115_183116_mob_tech_hro>
- [12] IQBAL, Asif. What is the difference between G, E, 3G, H, H+ and 4G symbols? We find out!. Telecomtalk [online]. 31. srpna 2014 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <<http://telecomtalk.info/difference-between-g-e-3g-h-4g-symbols-we-find-out/>>
- [13] KOKEŠOVÁ, Nikol. Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí. Brno, 2006. Bakalářská práce. MU, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Jan Staudek.
- [14] KOTTKAMP, Meik. HSPA+ Technology Introduction [online] 2009. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma205/1MA205_2E_HSPA_technology.pdf>
- [15] KRATOCHVÍL, Lukáš. Koncepce mobilních sítí čtvrté generace (LTE) v heterogenním uspořádání. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVÚT, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Jaroslav Holiš, Pavel Pechač.
- [16] KUMAR, Amit, LIU Yunfei, SENGUPTA Jyotsna. Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G [online]. 1. 12. 2010 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <<http://www.cs.ucsb.edu/~mturk/Courses/CS290I-2012/misc/1Gto4G.pdf>>
- [17] LABROSSE, Jean J. IHS Engineering 360: Asynchronous Serial Communications [online]. 2002 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <<http://www.globalspec.com/reference/28424/203279/html-head-chapter-11-asynchronous-serial-communications>>
- [18] LOHALA. SIMPLEX, HALF DUPLEX AND FULL DUPLEX. My study room [online]. 15. 1. 2011 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <<http://www.mystudyroom.com.np/classnotes.php?nan=89&fire=4&cake=26&sun=6&rnd=793682254fe186c46f6139.98870256>>
- [19] MOLNÁR, Jiří. UMTS: Struktura sítě 3G [online]. VUT , Brno [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.umts.wz.cz/Mob_radio_site_3G/struktura_site_3g.htm>

- [20] NOVÁK, Michael. Jednotný standard pro 3G sítě. In: mobil.idnes.cz [online]. 14. 7. 1999 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://mobil.idnes.cz/jednotny-standard-pro-3g-site-dih-/mob_tech.aspx?c=990714_0000790_mob_tech>
- [21] PABBISSETTY, Krishna. Introduction to 3G Wireless. University of East London [online]. 2015. Dostupné z: <<http://homepages.uel.ac.uk/u0227598/intro3g.htm>>
- [22] PAVLÍČEK, Michal. Vodafone pokryje města signálem LTE na frekvenci 2 100 MHz. In: Mobilnet [online]. 24. 11. 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <<http://mobilenet.cz/clanky/vodafone-pokryje-mesta-signalem-lte-na-frekvenci-2-100-mhz-18149>>
- [23] PHILIP, Sajan. Electronics Gurukulam: TDMA vs FDMA vs CDMA [online]. 2. 8. 2012 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <<http://electronicsgurukulam.blogspot.cz/2012/08/tdma-vs-fdma-vs-cdma.html>>
- [24] PIKHART, Z. Mobilní sítě. In: Access FELD CVUT [online]. 28. 07. 2004 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=mobilni-site&cisloclanku=2004072801>>
- [25] POOLE, Ian. What is MIMO? Multiple Input Multiple Output Tutorial. In: radio-electronics.com [online] [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <<http://www.radio-electronics.com/info/antennas/mimo/multiple-input-multiple-output-technology-tutorial.php>>
- [26] PRAVDA, Ivan. Základy mobilních sítí [online]. ČVUT, Praha [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/057.pdf>
- [27] REDL, Siegmund M.; WEBER, Matthias K.; OLIPHANT, Malcolm W (February 1995). An Introduction to GSM. Artech House. ISBN 978-0-89006-785-7
- [28] RICHTER, Tomáš. Technologie pro mobilní komunikaci [online]. ČVUT, Praha: 2002 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <<http://tomas.richtr.cz/mobil/>>

- [29] RUMNEY, Moray. MT-Advanced: 4G Wireless Takes Shape in an Olympic Year [online] Agilent Technologies, Inc. 2008. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-9793EN.pdf>>
- [30] SAILY, Mikko, Guillaume SEBIRE a Eddie RIDDINGTON. GSM/Edge: evolution and performance. Hoboken, N. J.: Wiley, c2010, xxv, 488 p. ISBN 978-047-0746-851.
- [31] SHARMA, Abhishem. Generations of Wireless Communication [online]. 3. 14. 2013 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <https://www.academia.edu/3099956/Generations_of_Wireless_Communication_From_0G_to_5G_Abhi>
- [32] SCHILLER, Jochen. Mobile communications. 2nd ed. Boston: Addison-Wesley, 2003, xviii, 492 s. ISBN 03-211-2381-6.
- [33] SOFTBANK CORP. Acquisition of Trial Operator's License for Mobile WiMAX Field Trial. SoftBank [online]. 2006 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.softbank.jp/en/corp/news/press/sb/2006/20061211_01/>
- [34] TRIGGS, Rob. 4G vs LTE – key differences explained. In: radio-androidauthority.com [online] 4. 10. 2013 [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <<http://www.androidauthority.com/4g-vs-lte-274882/>>
- [35] VAVRO, Michal. Moderní mobilní datové sítě. Hradec Králové, 2011. Diplomová práce. UHK, Fakulta informatiky a managementu. Vedoucí práce Josef Horálek.
- [36] VOKÁČ, Luděk. Delší výdrže smartphonů se dočkáme za pět let. Pomohou sítě 5. generace. In: mobil.idnes.cz [online]. 19. 10. 2014 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://mobil.idnes.cz/ericsson-business-innovation-forum-5g-trendy-faa-/mob_tech.aspx?c=A141217_194819_mob_tech_vok>
- [37] VOKÁČ, Petr. EDGE není jenom rychlejší kódování. IDnes [online]. 15. prosince 2004. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/edge-neni-jenom-rychlejsi-kodovani-dt1-/mob_tech.aspx?c=A041208_5287777_mob_tech
- [38] WARREN, Dan, Calum DEWAR. Understanding 5G [online]. GSMA Intelligence, 2014 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <<https://gsmaintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download>>

[39] ZIKMUND, Martin. Jak se vyznat v mobilních datových sítích (GSM, GPRS, EDGE). In: Businessvize [online]. 24. 6. 2010 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <<http://www.businessvize.cz/datove-prenosy-a-site/jak-se-vyznat-v-mobilnich-datovych-sitich-gsm-gprs-edge>>

9 Seznamy obrázků a tabulek

Obr. 1 Metody vícenásobného přístupu	4
Obr. 2 Způsoby přenosu	5
Obr. 3 Rozdíl mezi přenosy FDD a TDD	5
Obr. 4 Ostrůvkovité rozdělení oblastí	6
Obr. 5 Rozdělení oblasti do buněk	7
Obr. 6 Princip sektorizace	8
Obr. 7 Handover	9
Obr. 8 Struktura systému GSM	14
Obr. 9 Principiální blokové schéma mobilní stanice standardu GSM 900	15
Obr. 10 Frekvenční pásmo standardu GSM 1800 a jeho dělení	15
Obr. 11 Přenos dat prostřednictvím GPRS	18
Obr. 12 Protokoly rodiny IMT-2000 a využívané metody přístupu	20
Obr. 13 Struktura UMTS sítě	22
Obr. 14 Propojení v rámci UMTS	23
Obr. 15 Komunikační rozhraní mezi UTRAN a CN	23
Obr. 16 MIMO	27
Obr. 17 Struktura sítě LTE	29
Obr. 18 Heterogenní síť v systému LTE – Advanced	30
Obr. 19 Porovnání rychlosti 5G s předchozími generacemi	32
Obr. 20 Změna využití mobilních sítí z pohledu generací	32
Obr. 21 Pokrytí Vodafone	35
Obr. 22 Pokrytí O2	36
Obr. 23 Pokrytí T-Mobile	36
Obr. 24 Pokrytí T-Mobile a O2 - LTE-800 v Hradci Králové	37
Obr. 25 Pokrytí Vodafone v Hradci Králové	38
Obr. 26 Ukázka měřících aplikací	41
Obr. 27 Výpis z měření operátora Vodafone	42
Obr. 28 Výpis z měření operátora O2	42
Obr. 29 Výpis z měření operátora T-Mobile (Mobil.cz)	43
Obr. 30 Oblasti zvolené k otestování přenosových rychlostí	44

Tabulka 1 Frekvence systémů 1G.....	12
Tabulka 2 Standardy GSM	15
Tabulka 3 Rozdělení HSCSD	17
Tabulka 4 Třídy GPRS	18
Tabulka 5 Třídy EGPRS.....	19
Tabulka 6 Třídy HSDPA pro UMTS Release 5	26
Tabulka 7 Třídy HSUPA pro UMTS Release 6	27
Tabulka 8 Porovnání vysílačů v E-UTRAN.....	30
Tabulka 9 Aktuálně používané protokoly	33
Tabulka 10 Rozdíly pro jednotlivé generace.....	33
Tabulka 11 Limitní intenzity elektromagnetického pole.....	34
Tabulka 12 Adresy oblastí vybrané pro měření	44
Tabulka 13 Výsledky měření pro operátora Vodafone	45
Tabulka 14 Výsledky měření pro operátora O ₂	46
Tabulka 15 Výsledky měření pro operátora T-Mobile (Mobil.cz)	47
Tabulka 16 Průměr naměřených hodnot pro jednotlivé operátory	47



FIM UHK

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ**Fakulta informatiky a managementu**

Rokitanského 62, 500 03 Hradec Králové, tel: 493 331 111, fax: 493 332 235

Zadání k závěrečné práci

Jméno a příjmení studenta:

Michal Dvořáček

Obor studia:

Aplikovaná informatika

Jméno a příjmení vedoucího práce:

Monika Borkovcová

Název práce:

Analýza datového připojení mobilních zařízení

Název práce v AJ:

Analysis of the data connection of mobile devices

Podtitul práce:

Pokrytí v rámci ČR

Podtitul práce v AJ:

Coverage in the Czech Republic

Cíl práce: Analýza a šetření týkající se využívaných protokolů v oblasti datového mobilního připojení, praktická měření v rámci ČR.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Cíle a metodika práce
3. Teoretická část
4. Protokoly a generace
5. Pokrytí českých operátorů
5. Měření v Královéhradeckém kraji
6. Výsledky práce
7. Závěr a doporučení
8. Seznam použité literatury

Projednáno dne:

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce