

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Jakub Macháček



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Predikce možných vývojových trendů  
mobilních komunikačních služeb

leden 2015

Student: Bc. Jakub Macháček

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Brabec, CSc.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 5. 1. 2015

.....  
podpis studenta

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Zdeňku Brabcovi, CSc. a to především za jeho odbornou pomoc, cenné rady, empatii, trpělivost, věnovaný čas a vstřícnost při zpracovávání této práce.

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Macháček Jakub**

Studijní program:  
Obor: Sítě elektronických komunikací

Název tématu: **Predikce možných vývojových trendů mobilních komunikačních služeb**

Pokyny pro vypracování:

V posledních patnácti letech jsme byli v celosvětovém měřítku svědky rozmachu využívání veřejně dostupných služeb v mobilních sítích elektronických komunikací (dále: mobilní komunikační služby). Dosud používané technologie jsou na mezi svého růstu a objevují se jednak nástupnické technologie a jednak nové možnosti využívání technologií.

Není jisté, jaký bude další vývoj v této oblasti a Vaším úkolem je provedení jeho predikce. Za tímto účelem komplexně a vyváženě zhodnoťte dosavadní vývojové trendy v oboru mobilních komunikačních služeb. Identifikujte a zhodnoťte klíčové faktory (technické, administrativní, uživatelské, podnikatelské a další). Výstupem práce bude odhad budoucího rozvoje v tomto oboru v desetiletém horizontu. Práce musí být solidně technicky podložená. Koncipujte ji tak, aby byla přehledným vodítkem pro vývojové skupiny, které řeší, otázky spojené s nasazováním nových bezdrátových technologií do praxe. Její výstupy musí být užitečné pro podmínky České republiky.

Seznam odborné literatury:

- [1] Macháček, J.: Možnosti rozvoje služeb mobilních sítí 4. generace. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky. Praha 2012.
- [2] Vodrážka, J.: Očekávané vlastnosti a pokrytí ČR sítěmi LTE. Přednáška konference Optické komunikace 2013. Dostupné z: <http://www.action-m.com/ok2013/zvane-prednasky.php>
- [3] Materiály Evropské komise Digital Agenda for Europe – A Europe 2020 Initiative. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/telecoms-and-internet>
- [4] Materiály mezinárodní telekomunikační unie (ITU). Další informace sdělí a přístup k materiálům udělí vedoucí práce.  
Will be provided by the supervisor

Vedoucí: Ing. Zdeněk Brabec, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2014/2015



prof. Ing. Boris Šimák, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 20. 11. 2013

**Anotace:**

Tato diplomová práce se zabývá možnými vývojovými trendy mobilních komunikačních služeb. Strukturovaně popisuje dosavadní technologické trendy společně se současným stavem na českém telekomunikačním trhu. Dále popisuje možný vliv technických, administrativních a podnikatelských faktorů, které do budoucna ovlivní rozvoj v této oblasti. Mezi tyto faktory patří především problematika týkající se využívání frekvenčního spektra, možné vypínání sítí založených na starých technologiích a rozvoj nových standardů mobilních sítí. Zabývá se také možným rozvojem z pohledu služeb a aplikací, které do budoucna budou pro operátory důležité.

**Klíčová slova:**

2G, 3G, 4G, 5G, sdílení sítí, sdílení spektra, makroasistované buňky, masivní MIMO, SDN, NVF, C-RAN, IoT, M2M, bezdrátové senzorové sítě, cloud, cloud computing

**Summary:**

This master thesis discusses the possible development trends of mobile communication services. It describes the current technological trends along with the current situation in telecommunications market in Czech Republic. It also describes the possible influence of technical, administrative and business factors that will influence the future development in this area. These factors include, in general issues related to the use of the spectrum, the possible shutdown of networks based on old technologies and the development of new standards for mobile networks. It also discusses the possible development in terms of services and applications, which will be important for operators in the future.

**Index Terms:**

2G, 3G, 4G, 5G, network sharing, spectrum sharing, phantom cell, massive MIMO, SDN, NVF, C-RAN, IoT, M2M, wireless sensor network, cloud, cloud computing

## Obsah

1	Úvod.....	8
2	Vývoj mobilních sítí .....	10
2.1	První generace mobilních sítí.....	10
2.2	Druhá generace mobilních sítí.....	11
2.3	Třetí generace mobilních sítí .....	11
2.4	Čtvrtá generace mobilních sítí.....	16
3	Současný stav .....	18
3.1	Výsledky aukce .....	28
3.2	Virtuální operátoři.....	30
3.3	Sdílení v mobilních sítích.....	32
4	Faktory ovlivňující budoucí vývoj mobilních komunikací .....	37
4.1	Kmitočtové spektrum.....	37
4.2	Aukce zbylých kmitočtů .....	41
4.3	Vypínání sítí .....	43
4.4	Zrušení roamingu a síťová neutralita .....	45
4.5	Sdílení spektra .....	46
4.6	Technické faktory .....	50
4.6.1	Pátá generace mobilních sítí.....	50
4.6.2	Technické prvky 5G .....	59
4.7	Aplikace.....	61
4.7.1	Internet věcí .....	61
4.7.2	Strojová komunikace.....	65
4.7.3	Bezdrátové senzorové sítě.....	70
4.7.4	Cloud Computing and mobile cloud computing.....	71
5	Závěr .....	73
	Seznam literatury .....	78
	Seznam obrázků .....	88
	Seznam tabulek .....	89
	Seznam použitých zkratk .....	90

## 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je identifikace faktorů, které do budoucna ovlivní rozvoj služeb a aplikací v oblasti poskytování mobilních služeb. Tyto faktory jsou identifikovány na základě analýzy předchozího stavu a vývoje na českém telekomunikačním trhu.

Práce popisuje vývoj v oblasti mobilních komunikací včetně současného stavu v České republice. V další části jsou identifikovány a strukturovaně popsány ovlivňující faktory nadcházejících let včetně možného technického rozvoje směrem k mobilním systémům páté generace. Na závěr jsou popsány možné služby, které mají do budoucna velký potenciál pro poskytovatele služeb, tedy mobilní operátory.

Dnes jsou komunikační sítě nezbytnou součástí téměř všech průmyslových oblastí a odvětví. Platí to jak v ekonomicky rozvinutých zemích, tak i v rozvíjejících se zemích. Důležité služby jako jsou rozvody elektrické energie, plynu, vody nebo doprava či zdravotnictví jsou stále více závislé na připojení k internetu. Připojení k internetu představuje klíčovou technologii pro všechna odvětví. Investice do odvětví telekomunikací jsou největšími z pohledu ICT trhu a bude tomu tak i nadále, neboť technický pokrok je nezastavitelný a poskytovatelé telekomunikačních služeb musí s tímto vývoje držet krok z důvodu konkurenceschopnosti. Takovýto dramatický vývoj komunikačních sítí je otázkou posledního desetiletí, především na začátku tohoto tisíciletí došlo k masivnímu rozvoji a nasazování širokopásmového přístupu a také vývoji plně IP mobilní architektury. Tento vývoj bude pokračovat i nadále vzhledem ke stále rostoucím požadavkům uživatelů a také díky rozvoji různých aplikací a služeb. Požadavky uživatelů a aplikací se především týkají latence, spolehlivosti, dostupnosti, bezpečnosti apod., což vyžaduje zcela nové přístupy k sítím a lze předpokládat, že nároky uživatelů budou stále vyšší. V důsledku toho je nutné vytvořit nové sítě, které by pokryly rostoucí poptávku a nároky. Vše bude ovlivněno faktory spojenými s regulací na národní i mezinárodní úrovni, dostupným spektrem, standardizací nových technologií a případnou schopností poskytovatelů telekomunikačních služeb co nejrychleji reagovat na tyto výzvy. Je důležité představit inovativní architekturu, která bude schopná se vypořádat se všemi uvedenými problémy, ale umožní operátorům také snížit investice na vybudování sítí a následné náklady na provoz.



Bylo by těžké si představit svět obecně bez bezdrátových aplikací a služeb. Po celém světě hrají mobilní služby stále důležitější roli v každodenním životě společnosti. Z počátku byly mobilní služby primárně tvořeny základním prvkem komunikace – přenosem hlasu. Dnes jsme však svědky rozvoje mnoha dalších služeb, které neslouží pouze pro komunikaci. Mobilní služby nám umožňují přístup k zábavě, vzdělání, bankovníctví, zdravotní péči, zjišťování polohy apod. Mobilní služby mají také významný dopad na rozvoj zemí a společnosti, což je spojeno také s možným zlepšením životní úrovně. Společnost se stává stále více závislá na mobilních službách, které nám pomáhají v plnění našich každodenních úkolů a celkově usnadňují život.

Během posledních deseti let se mobilní služby posunuly od poskytování pouhých hlasových služeb k mobilním širokopásmovým multimediálním službám. Dosažený technický pokrok umožňuje dosahování vyšších přenosových rychlostí, snížení latence, zvýšení kapacity sítě apod., což vede k rozšiřování nabídky služeb mobilních operátorů. Budoucí technologie budou výrazně odlišné od dnešních sítí. Průměrná doba vývoje nové generace síťových technologií je přibližně 10 až 15 let. V dlouhodobém horizontu je tedy nutné pracovat na vývoji nové ambiciózní sítě a také inovovat a udržovat stávající technologie, které dávají operátorům konkurenceschopnost. Operátoři tedy stojí před výzvou jak pokrýt stále rostoucí počet mobilních zařízení připojených k jejich sítím, zvýšit propustnost pro jednoho uživatele, dimenzovat síť, zajistit dostatečnou kapacitu, udržet síť energeticky efektivní a jaké spektrum využít.

## 2 Vývoj mobilních sítí

Mobilní sítě jsou s námi již od roku 1950. Právě v tomto roce vznikla v Holandsku první komerčně používaná síť. V počátcích trpěly tyto sítě množstvím nedostatků a problémů s nízkou kapacitou, pokrytím a omezenou mobilitou terminálů, které byly velké a energeticky náročné. Řešení těchto problémů se začalo objevovat s prvními sítěmi založenými na principu buněk. Vývojem celulárních sítí se zabývali v AT&T Bellových laboratořích na začátku 70. let.

Mobilní sítě procházejí vývojovými fázemi, které jsou lépe známé jako generace. Každá generace se vyznačuje pokročilejší technologií používanou v síti i v uživatelských zařízeních. V současné době jsou ve světě mobilních komunikací používány standardy druhé až čtvrté generace.

### 2.1 První generace mobilních sítí

První generace celulárních systémů (**1G**) byla představena v 80. letech. V rámci Evropy byl v roce 1981 spuštěn první komerčně využívaný systém. Jednalo o systém *Nordic Mobile Telephony*, zkráceně **NMT**. Tento standard byl vyvinut skandinávskými (severskými) zeměmi, mezi které patřilo Finsko, Norsko, Švédsko a Dánsko, proto Nordic. Původně měl sloužit pro spojení rybářských lodí s pobřežím. Systém NMT byl využíván ve dvou variantách podle frekvenčních pásem, ve kterých byl provozován. V pásmu 450 MHz byl tedy provozován systém NMT-450 a pásmu 900 MHz systém NMT-900, který byl představen v roce 1986, a využívání tohoto pásma umožnilo zvýšení počtu kanálů. Podobně tomu bylo i ve Spojených státech, kde byl v roce 1983 spuštěn systém **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*). Tyto systémy byly následovány dále po světě, ve Velké Británii systémem **TACS** (*Total Access Communication System*), ve Francii šlo o systém RadioCom 2000, další systémy byly v Itálii, Japonsku a dále. Všechny systémy byly velice podobné a vycházely z jednoho principu. První generace mobilních sítí používala pro přenos analogových signálů kmitočtovou modulaci a přístupovou metodou **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*). Sítě první generace nebyly téměř zabezpečeny, neumožňovaly mezinárodní roaming, dosahovaná kvalita hovorů byla nízká a velikost jedné buňky se pohybovala v rozmezí od 2 do 30 km. Systém se skládal z hlavních prvků, které byly součástí subsystémů.

V 90. letech byla společnosti Eurotel Praha s.r.o. udělena licence na provozování sítě založené na standardu NMT-450. Licenční podmínky byly nastaveny tak, že měla uvedená společnost zajištěnou exkluzivitu na 5 let, což vedlo ve výsledku k celkovému zpoždění vývoje mobilních sítí v České republice. Provoz tohoto systému byl ukončen nástupem systémů druhé generace, protože začal klesat počet účastníků v NMT síti.

## 2.2 Druhá generace mobilních sítí

Celosvětovým standardem pro mobilní sítě druhé generace (**2G**) je **GSM** (*Global System for Mobile Communication*). Tento systém byl vyvíjen od roku 1982 a standardizován až v roce 1990 a byl koncipován jako náhrada systémů první generace. Systém byl navržen tak, aby splňoval kritéria jako je nízká cena služeb a zařízení, podpora mezinárodního roamingu, kvalitní přenos hlasu a aby umožňoval možnost dalšího rozvoje. Jedná se o digitální systém, který byl zpočátku využíván pouze pro hlasové služby, ale později umožňoval také datové přenosy založené na principu přepojovaných okruhů **CSD** (*Circuit Switched Data*) a **HS-CSD** (*High Speed-Circuit Switched Data*). Systém GSM je v Evropě provozován v kmitočtových pásmech 900 MHz a 1800 MHz a používá kombinaci dvou přístupových metod **FDMA over TDMA** (*Frequency Division Multiple Access over Time Division Multiple Access*). Využití této techniky umožňuje lepší využití kmitočtového spektra díky tomu, že frekvenční pásmo je rozděleno do menších pásem pomocí FDMA a tato pásma jsou dělena do časových intervalů pomocí **TDMA** (*Time Division Multiple Access*).

Druhá generace byla rozšířena přidáním nových technologií, které umožňují navýšit přenosové rychlosti. Tímto rozšířením bylo zavedení technologie **GPRS** (*General Packet Radio Service*). Hlavním přínosem této technologie je přenos dat založený na přepojování paketů. Dalším rozšířením byla technologie **EDGE** (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Tato technologie využívá jiný typ modulace, což umožňuje dosahování vyšších přenosových rychlostí, jinak vychází z technologie GPRS.

## 2.3 Třetí generace mobilních sítí

Vývoj nové generace mobilních systémů byl podmíněn potřebou po vyšších rychlostech, vyšší kapacitě, lepší **QoS** (*Quality of Service*). Mobilní sítě třetí generace vychází ze

standardu **IMT-2000** (*International Mobile Telecommunications 2000*), který definuje požadavky na mobilní síť **3G**. Jak tomu bylo i u předchozích systémů i zde jsou kladeny požadavky na zvýšení rychlosti, kompatibility a podpory přepojovaných okruhů i paketů. Důležité bylo také vytvořit technologii, která by vyřešila problémy s kompatibilitou mezi různými standardy a jednotností systémů. V tomto smyslu však standard úplně neuspěl a vzniklo několik různých systémů, které spadají pod IMT-2000, tzv. členové rodiny IMT-2000. Standardy založené na **W-CDMA** (*Wideband-Code Division Multiple Access*), také známé jako **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*), jsou vyvíjeny organizací **3GPP** (*The 3rd Generation Partnership Project*). Hlavním úkolem organizace 3GPP je vývoj systému 3G: Tento vývoj spočívá ve vydávání standardů definujících UMTS, tzv. Release, oficiálních vydání.

Krátký soupis nejdůležitějších technických inovací uvedených v jednotlivých vydáních:

- **Release 99** - Vývoj byl započat tímto vydáním, které uvedlo první použitelnou verzi UMTS. Kromě toho uvedl také vylepšení GSM ve formě EDGE.
- **Release 4** – Přineslo podporu multimediálních zpráv a popsalo první kroky k využití IP v jádru sítě.
- **Release 5** – Uvádí první fáze vývoje **IMS** (*Internet protocol Multimedia Subsystem*), současně uvádí plnou schopnost komunikace založené na IP místo **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*) v jádru sítě. Současně představuje technologii **HSDPA** (*High-Speed Downlink Packet Access*) společně novou hybridní metodou s automatickou žádostí o opakování **H-ARQ** (*Hybrid-Automatic Repeat reQuest*).
- **Release 6** – Novinka v podobě technologie **HSUPA** (*High-Speed Uplink Packet Access*), současně s vylepšenou podporou multimediálních služeb pomocí **MBMS** (*Multimedia Broadcast/Multicast Services*). Vylepšení IMS a počáteční schopnost podpory **VoIP** (*Voice Over IP*).
- **Release 7** – Poskytuje rozšířené funkce GSM ve formě Evolved EDGE. Specifikuje **HSPA+** (*High-Speed Packet Access plus*) zahrnující vyšší řád modulace a **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*), poskytuje zlepšení výkonu, spektrální účinnosti a zvýšení kapacity. Optimalizace MBMS.

- **Release 8** – Obsahuje další funkce spojené s technologií HSPA+ jako současné využití MIMO a modulace 64-QAM. Přináší také inovaci ve formě Dual-carrier HSDPA, která umožňuje kombinovat kanály za účelem zdvojnásobení propustnosti. Dále definuje technologie spojené s nově přestaveným LTE (*Long Term Evolution*), a to přístupové metody **OFDMA** (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*), **SC-FDMA** (*Single-carrier FDMA*) a zcela nový typ all-IP architektury **SAE** (*System Architecture Evolution*). Ve spojitosti s LTE byl také uveden nový typ základnové stanice eNodeB.
- **Release 9** – Dále rozšiřuje HSPA a LTE, včetně Dual-carrier HSPA v kombinaci s MIMO, podpory nového typu buněk, femtobuněk, a další inovace pro IMS. Uvádí také první zmínky o kandidátské technologii **IMT - Advanced** (*International Mobile Telecommunications – Advanced*).
- **Release 10** – Představuje technologii LTE – Advanced jako kandidátskou technologii, která splňuje požadavky standardu IMT – Advanced s klíčovými prvky, mezi které patří agregace nosných, rozšíření MIMO, radioreléové stanice, heterogenní sítě, **SON** (*Self Optimizing Network*), který umožňuje automatizovanou správu, plánování a nastavování sítě založené na definovaných příkladech. Kromě těchto inovací přináší také Quad-carrier HSPA a optimalizace spojené s komunikací M2M a snižováním zátěže.
- **Release 11** - Klade důraz na **COMP** (*Co-ordinated Multi-Point*), vylepšení agregace nosných a také zlepšuje formování paprsků u systému MIMO.
- **Release 12** je plánován na rok 2015. Předpokládá se, že přinese vylepšení stávajících technologií a rozšíření spolupráce s **Wi-Fi** (*Wireless - fidelity*).

Postupné zavádění technologií založených na protokolu IP v jednotlivých částech mobilní sítě je první krokem, který umožňuje ucelené řešení v oblasti zpracování dat. V důsledku toho je možné poskytnout koncovému uživateli služby založené na využití IMS. Lze však předpokládat, že zmíněné služby budou využívat stále rostoucí šířku využívaného pásma. Možným způsobem jak v budoucnosti dosáhnout nejlepších výsledků v přenosu dat, vezme-li se v potaz stále narůstající zatížení sítě a zvyšující se přenosovou rychlost, je využití architektury LTE/SAE. Snížení počtu uzlů umožní snížení

latence. Long Term Evolution, LTE, je technologie patřící do standardů třetí generace. Tento systém nebyl zařazen do čtvrté generace, protože nesplňuje podmínky stanovené v doporučení IMT – Advanced. Na standardizaci a specifikaci LTE se podílí organizace 3GPP, která stojí také za předchozími standardy. Příchod takovéto technologie znamená pro operátory velký zásah do stávající síťové infrastruktury. LTE představuje zásadní změnu, neboť inovace spojené s LTE se týkají kompletní sítě, komunikace v celé síti je založena na protokolu IP, který tvoří základ tzv. All-IP Network. Velkých změn doznala architektura, která je oproti předchozím technologiím hodně zjednodušená a jedná se tzv. flat, tedy plochou architekturu. Tato plochá architektura je prezentovaná systémem SAE, který umožňuje dosahovat vysokých přenosových rychlostí s nízkou latencí. Těchto výsledků je možné dosáhnout díky rozložení funkcí vykonávaných v rámci jádra sítě mezi periferie. Změna architektury je jak v jádru sítě, tak v přístupové síti. Technologie OFDM byla začleněna do LTE, neboť umožňuje efektivnější širokopásmový přenos a poskytuje velkou odolnost proti rušení. Přístupové metody se liší podle směru. Pro sestupný směr byla zvolena metoda OFDMA, zatímco pro vzestupný směr byla zvolena metoda SC-FDMA, hlavně z především z důvodu nižší energetické náročnosti, což se příznivě promítne na uživatelských zařízeních. Kromě přístupových metod je novinkou i využívání systému MIMO, který využívá většího počtu antén na straně přijímače i vysílače a umožňuje zvýšit spektrální účinnost, propustnost a pokrytí buňky. Počet antén na základnové stanici není tak problematickou záležitostí jako na straně uživatelského zařízení, kde je počet antén limitován fyzickými rozměry zařízení. Všechny technické inovace umožňují LTE pracovat efektivněji co se týče spektra a také poskytnou mnohem vyšší přenosové rychlosti.

Pro splnění požadavků na šířku pásma se snaží poskytovatelé mobilních služeb po celém světě přejít na nové generace bezdrátových technologií jako je například **WIMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), LTE apod. Stejně důležité je vybudovat pro tuto technologii páteřní síť, která dokáže překonat omezení sítí druhé a třetí generace. LTE je preferovanou volbou před jinými technologiemi, protože poskytuje vysokou spektrální účinnost, kapacitu a nízkou latenci. LTE je nejrychleji se vyvíjející mobilní technologií v tomto odvětví. Stále se zvyšuje počet operátorů, kteří nasadili LTE v komerčním provozu a roste také počet zkušebních provozů. Hlavní výzvou,

kteří operátoři čelí při zavádění LTE, je cena vybudování této sítě. Operátoři nejčastěji musí vybudovat novou infrastrukturu, základnové stanice, věže, páteřní síť atd. Projektování a plánování sítě LTE také vyžaduje značnou technickou podporu. Navzdory všem těmto výzvám je LTE ideální volbou pro poskytovatele mobilních služeb, neboť poskytuje větší spektrální účinnost, která umožňuje připojení větší skupiny uživatelů při stavu vysokého vytížení. Všechny benefity plynoucí z LTE vedou k úsporám, které mohou operátoři využít v konkurenčním boji a tlaku na cenu v relativně hustě penetrovaném trhu poskytovatelů telekomunikačních služeb.

Největší zájem operátorů je upřen k nižším frekvenčním pásmům. Obecně platí, že poptávka po nižších frekvenčních pásmech je větší v důsledku zlepšení vlastností šíření v prostředí, mají lepší schopnost penetrace. Regulátoři na základě toho maximalizují množství licencí vyhrazených v těchto pásmech. Neznamená to však, že výstavba sítě na nižší frekvenci znamená vítězství. Při pokrytí většího území zároveň pravděpodobně pokrývá více uživatelů, kteří zatěžují danou buňku, vysílač. V oblasti s větším zalidněním je výhodnější používat vyšší kmitočty, které mohou poskytnout vyšší rychlosti. Větší šířka pásma umožňuje dosahovat vyšších přenosových rychlostí a větší kapacity. U nižších kmitočtů klesá přenosová rychlost se vzdáleností od základnové stanice. Vyšší frekvence zajišťují dostatečnou kapacitu v hustě zalidněné oblasti a nemají tak výrazný pokles rychlosti se vzdáleností.

Původně se v případě LTE nepočítalo s poskytováním hlasových služeb, protože LTE bylo pojato jako technologie založená čistě na IP architektuře a přenos hlasu bude řešen pomocí VoIP nebo pomocí již zaběhlých sítí 2G a 3G. Časem se toto uvažování projevilo jako ne příliš vhodné a začala vznikat řešení přenosu hlasu. Přestože příjmy z hlasových služeb klesají, je nutné mít i v nových systémech podporu pro tyto služby. Možnosti řešení hlasových služeb je **CSFB** (*Circuit Switced Fall Back*) – toto řešení umožňuje poskytovat hlasové služby pomocí návratu, tzv. fall back, ke starším systémům. K návratu dochází v okamžiku, kdy je hovor iniciován a po ukončení dojde k návratu zpět. Kromě poskytování hlasových služeb poskytuje také podporu textových zpráv. Na obdobném principu používajícím starší systémy funguje i **VoLGA** (*Voice over LTE via Generic Access Network*) a také řešení **SV-LTE** (*Simultaneous Voice LTE*), pouze s tím rozdílem, že SV-LTE umožňuje současný běh LTE a hlasových služeb. Poskytuje podobné

řešení jako CSFB, ale kvůli současnému běhu dvou rádií má poměrně velký negativní vliv na živostnost baterie v zařízení. Řešení, které bylo zvoleno, jako nejvhodnější je **VoLTE** (*Voice over LTE*). Toto řešení je založeno na využívání IMS a bylo vyvinuto ve spolupráci s předními výrobci síťové infrastruktury a operátory.

Ve spojení s technologií LTE se objevuje ještě jeden odlišný přístup tzv. **TD-LTE** (*Time Division LTE*). Běžné systémy postavené na standardech, mezi které patří LTE a UMTS, využívají frekvenčního dělení duplexu (**FDD** – *Frequency Division Duplex*). V praxi to znamená, že využívané spektrum je párové, jde tedy o dva bloky spektra, kde jeden slouží pro sestupný směr a druhý pro vzestupný směr. Technologie TD-LTE byla vyvinuta operátorem China Mobile. TD-LTE je provozováno v jiných pásmech spektra, převážně na vyšších frekvencích kde pracuje lépe, a přenos je alokován do jednoho kanálu, šířka pásma je přidělována komunikaci ve vzestupném či sestupném směru podle potřeby, pásmo je tedy sdíleno pro oba směry. Z toho důvodu nelze využívat oba směry současně. I přes rozdíly, které jsou mezi **TDD** (*Time Division Duplex*) a FDD verzí LTE je možné, aby čipová sada v zařízení podporovala obě technologie, výrobou těchto duálních čipů se zabývá i společnost Qualcomm. Technologie TD-LTE je populární především v Asii, protože se jedná o další vývojový krok technologie **TD-SCDMA** (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*), ale proniká i do Evropy. V září 2014 bylo v provozu 40 sítí postavených na TD-LTE ve 27 zemích a dalších 49 sítí se připravovalo na spuštění. Do budoucna se nabízí možnost vzájemné spolupráce a současné využití TDD a FDD standardu LTE, čímž vznikne kompletní ekosystém LTE. Technologie TD-LTE může představovat celosvětově atraktivní řešení pro všechny operátory i díky velkému množství nepárového spektra.

## 2.4 Čtvrtá generace mobilních sítí

Zástupce mobilních sítí čtvrté generace, **4G**, je technologie LTE – Advanced. Jak již vyplývá z názvu, tato technologie pokračuje v evoluci LTE, ale posouvá systém dále za hranice 3G. Vývoj této technologie byl opět veden pod záštitou organizace 3GPP a byl směřován ke splnění podmínek definovaných v doporučení IMT – Advanced, tedy standardu definujícího 4G. Jako tomu bylo i u LTE tak i LTE – Advanced využívá technologii OFDM spolu s přístupovou metodou OFDMA a SC-FDMA. Samozřejmostí je



také využití anténního systému MIMO, který však byl rozšířen tak, aby bylo dosaženo stanovených požadavků. Mezi hlavní rozdíly oproti 3G LTE je rozšíření systému o technologie CoMP, tedy koordinovaného mnohabodového vysílání, které umožňuje dynamickou koordinaci komunikace přes více různých základnových stanic. Další inovací je agregace nosných, díky které je možné skládat ze souvislých i nesouvislých pásem za účelem vytvoření dostatečné šířky pásma pro dosažení nejvyšších rychlostí. Významnou inovací je také využití Relay nodes, tzv. radioreléových stanic. Tato technologie řeší otázku pokrytí okrajových oblastí buněk, kdy stojí mezi uživatelským zařízením a základnovou stanicí eNodeB a tvoří prostředníka komunikace, ale nejde o opakovač. S každým dalším oficiálním vydáním organizace 3GPP (release) dochází k rozšíření stávajících systémů, takže počet inovací týkajících se LTE – Advanced bude dále narůstat.

Generace	Technologie	Rychlost (sestupný směr)	Šířka kanálu MHz	Spektrální účinnost [kbit/s/MHz]
2G	CSD	9,6 kbit/s	0,2	48
2G	GPRS	20,0 kbit/s	0,2	10
2G	EDGE	59,2 kbit/s	0,2	296
3G	UMTS	2,0 Mbit/s	5,0	400
3G	HSPA	21,6 Mbit/s	5,0	4320
3G	LTE	85,7 Mbit/s	10,0	8570
4G	LTE-A	3 000 Mbit/s	100,0	30000

Tabulka 1 - Srovnání technologií dle vybraných kritérií [1]

Podrobnější popis jednotlivých technologií, včetně architektur a dalších srovnání je uveden v mé bakalářské práci [1]. Výše uvedený popis slouží hlavně k vytvoření představy, k jakým změnám docházelo během vývoje jednotlivých generací a jakými trendy se tyto změny řídily.

### 3 Současný stav

V současnosti se technologicky nacházíme na pomezí 3. a 4. generace mobilních sítí. Tímto pomyslným pomezím či milníkem je chápána technologie LTE a nástupnická technologie LTE – Advanced. Obě technologie jsou v případě České republiky na svém počátku, ale postupně jsou čím dál tím více rozšiřovány. Zatím se to týká hlavně důležitých městských oblastí s velkou hustotou osídlení, ale díky rychlému zavádění LTE a podmínek stanovených v aukci dochází k dalšímu rozšiřování pokrytí. Jsme také svědky několika důležitých událostí, které na dlouhou dobu předurčí, jakým směrem se odvětví mobilních telekomunikací bude ubírat. Mezi tyto události patří aukce frekvenčních pásem, které se uvolnily po analogovém televizním vysílání, převzetí společností O2 Czech Republic a.s. investiční skupinou PPF, prodej české pobočky společnosti GTS Novera s.r.o. společnosti T-Mobile ČR a.s., ale také vznik nových operátorů, tzv. virtuálních operátorů.

Na českém telekomunikačním trhu působí v současné době 3 hlavní operátoři, jmenovitě O2 Czech Republic a.s., T-Mobile Czech Republic a.s. a Vodafone Czech Republic a.s. Před aukcí kmitočtů se hovořilo o možném vstupu nového subjektu na český telekomunikační trh, k čemuž nakonec nedošlo. Trh mobilních služeb se nachází ve fázi stagnace, protože klesá počet aktivních SIM karet. Zákazníci jsou téměř rovnoměrně rozprostřeni mezi tři mobilní operátory, což je jim ulehčenou snadnou a rychlou přenositelností čísel. Ceny za provolanou minutu se neustále snižují, ale oproti některým zemím jsou stále téměř dvakrát vyšší. Navíc existuje značný rozdíl mezi cenovými nabídkami pro podnikající a nepodnikající subjekty. Podle srovnání cen nabídky českých operátorů Českého telekomunikačního úřadu je u nás nejdražším operátor O2 Czech Republic a.s.

Aktuálně všichni 3 významní poskytovatelé mobilních služeb poskytují hlasové služby a další poskytovanou službou jsou textové a multimediální služby. Z pohledu tarifikace jsou na trhu dostupné různé způsoby účtování hovorů. Aktuálně jsou v nabídkách mobilních operátorů 3 typy tarifikace: Sekundová (0+1), Sekundová se zaváděcím impulsem (60+1) a intervalová (60+60). Nejvýhodnější tarifikací z pohledu zákazníka je tzv. sekundová tarifikace od počátku hovoru, za porovnatelnou a cenově podobnou lze považovat tarifikaci 60 + 1, tedy sekundovou se zaváděcím impulsem. Jedná se o

zpoplatnění celé první minuty, zaváděcího impulsu a poté je hovor účtován po sekundách. V průběhu roku 2013 došlo k razantní změně, a to ke značnému zlevnění neomezených tarifů, které se staly mnohem dostupnějšími. Prvním operátorem, který toto zlevnění uskutečnil, byla Telefónica (nyní O2 Czech Republic a.s.), která tímto krokem rozpoutala cenovou válku a mírně pozměnila portfolia nabízených služeb operátorů. [36]

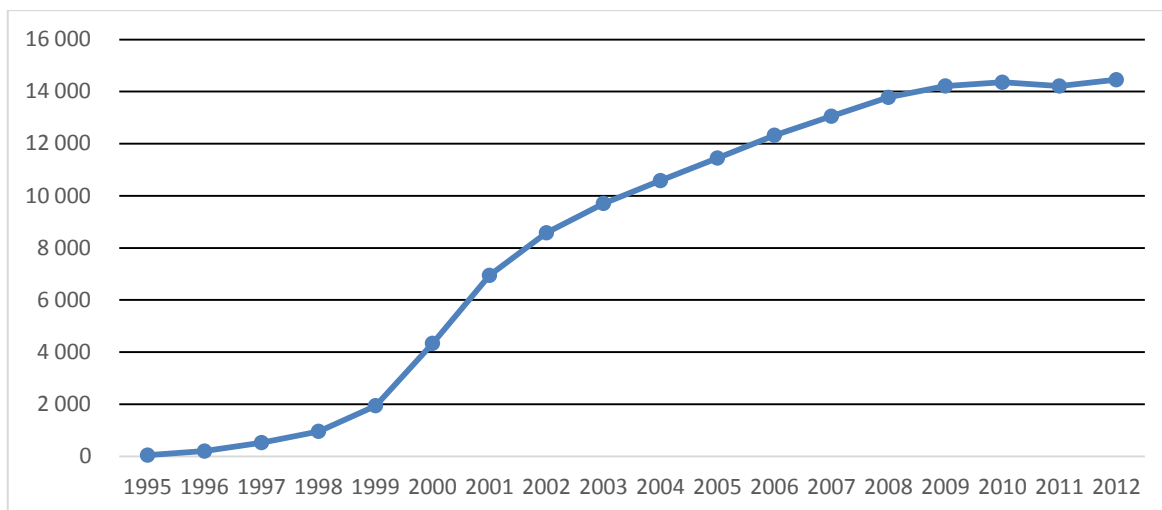
Další z portfolia služeb poskytovaných mobilními operátory jsou datové služby. Konkrétně těchto služeb se v poslední době týká největší nárůst, který je způsoben zvětšujícím se pokrytím a rostoucí penetrací chytrými telefony, tablety a dalšími komunikačními zařízeními schopnými přistupovat k těmto službám. Mobilní datové služby lze rozdělit do dvou kategorií: doplňkovou službu k hlasovému tarifu a samostatný mobilní internet. V rámci datových služeb se směřuje k univerzální službě, která bude umožňovat využívání jakékoliv technologie (2G, 3G, 4G) pouze s jedním omezením. Toto omezení se týká pokrytí lokality, ve které se uživatel nachází, danou technologií. Nebude záležet na kategorii, zda se bude jednat o samostatnou či doplňkovou službu.

Vzhledem k trendům na trhu, kdy roste poptávka po vysokorychlostním připojení k internetu na úkor hlasových služeb, musí operátoři dimenzovat provoz ve svých sítích. Došlo tedy ke zrušení neomezených datových tarifů a operátoři sahají po různých řešeních, neboť investice do sítě by v tomto případě dimenzování sítě byla obrovská. Využívají se tedy datové tarify s tzv. **FUP** limitem, neboli *Fair Usage (User) Policy*, kdy po překročení přiděleného objemu dat na určité období dochází ke zřetelnému snížení přenosové rychlosti, což za určitých okolností činí službu téměř nepoužitelnou. Toto omezení trvá do konce daného období, které je v tomto případě nejčastěji měsíc. Je možné si také zakoupit dodatečný objem dat, čímž dojde k navýšení stávajícího datového limitu. Dalším řešením snížení zatížení sítě je využívání systému **CDN** (*Content Delivery (Distribution) Network*). CDN představuje velký distribuovaný systém serverů nasazených v několika datových centrech. Tyto servery určitým způsobem zrcadlí nejčastěji požadovaný obsah. Cílem CDN je poskytovat koncovým uživatelům obsah s vysokou dostupností a výkonem. CDN poskytuje velkou část internetového obsahu, včetně webových objektů, stahovatelného obsahu, streamovaných medií a sociálních

sítí. Kromě zlepšení dostupnosti a výkonu slouží CDN také ke snížení provozu v infrastruktuře poskytovatele daného obsahu. Využití tohoto systému v síti mobilního operátora umožňuje snížení vytížení páteřní sítě operátora a také snížení investic do infrastruktury. V sítích mobilních operátorů také dochází k využívání technologie **DPI**, *Deep Packet Inspection*. Jedná se o formu filtrování provozu pomocí kontroly průchozích paketů. Filtrování je realizováno na základě určitých kritérií a provádí se za účelem diskriminace určitých typů datového provozu, který zatěžuje více sítě. Může se jednat o služby typu YouTube, Skype apod., jde tedy o služby, které využívají streamování videa, čímž poměrně značně zatěžují síť. Tohoto filtrování se využívá nejčastěji v období pravidelné špičky, kdy je nárůst připojených uživatelů a provozu nejvyšší. Všechny tyto kroky tedy umožňují dimenzování a řízení objemu přenesených dat v síti.

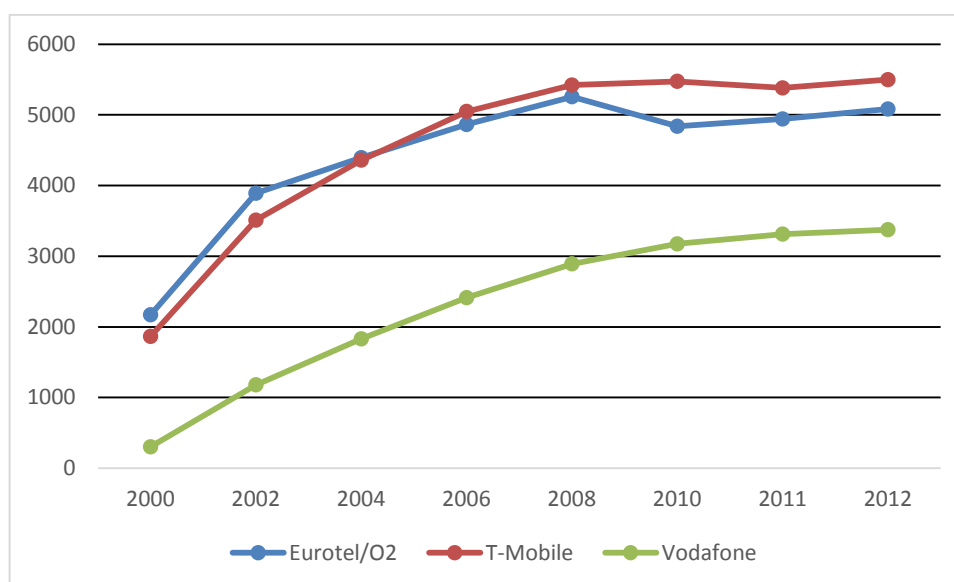
Současné trendy lze také dobře popsat pomocí grafů vývoje jednotlivých kategorií, které nejlépe definují vývoj českého telekomunikačního trhu za období zpětně.

K aktuálně vysokému stavu v počtu SIM karet přispělo postupné rozšiřování mobilních telefonů a sítí, které začalo prvními uživateli v síti operátora Eurotel založené na NMT. Obecně byl nárůst podmíněn také zvýšením zájmu o mobilní komunikace a dalším důležitým faktorem byla cena prvních mobilních telefonů, které nebyly přístupné pro každého. V roce 1996 došlo ke spuštění první sítě založené na standardu GSM společností O2 (v té době Eurotel), kterou následovala v roce 1997 společnost T-Mobile (původně Paegas) a dále Vodafone (dříve Oskar), který získal v roce 1999 licenci na provoz mobilní sítě GSM a spustil komerční provoz své sítě v roce 2000. Největší nárůst počtu SIM karet začal v roce 1999. V současnosti počet SIM karet překračuje počet obyvatel České republiky, což je způsobeno faktem, že někteří lidé mají SIM karty od jiných operátorů, ale také tím, že mají pracovní SIM kartu poskytnutou zaměstnavatelem. Dalším důvodem, proč lidé mají více SIM karet od různých operátorů, je především cenová výhodnost služeb v rámci sítě daného operátora. Současně je nutné započítat také SIM karty, které slouží například pro strojovou komunikaci apod. Častěji také dochází k přelivu (migraci) zákazníků mezi jednotlivými operátory a to díky širší nabídce jednotlivých operátorů a značnému vlivu virtuálních operátorů.



Obrázek 1 - Počet aktivních SIM karet v České republice (v tisících) [38]

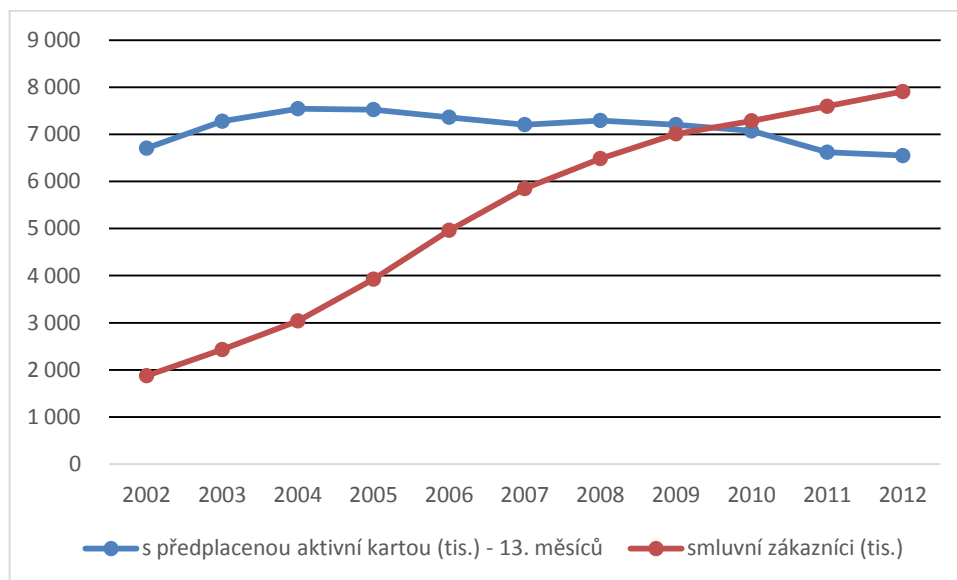
Pro další srovnání je vhodné poukázat na tržní podíly jednotlivých operátorů. Toto rozdělení je ovlivněno také faktem, že každý operátor vstoupil na trh v rozdílném období, pokud tedy posuneme časovou osu do roku 2000, má Eurotel/O2 a T-Mobile značný náskok. I přes všechny tyto překážky se však poslední vstupující na trh Vodafone vypracoval do role plnohodnotného konkurenta. Větší konkurence na trhu ovlivnila ceny služeb, což vedlo k dalšímu zvyšování počtů uživatelů u jednotlivých operátorů.



Obrázek 2 - Tržní podíly jednotlivých operátorů podle počtu zákazníků v ČR (v tisících) [38]

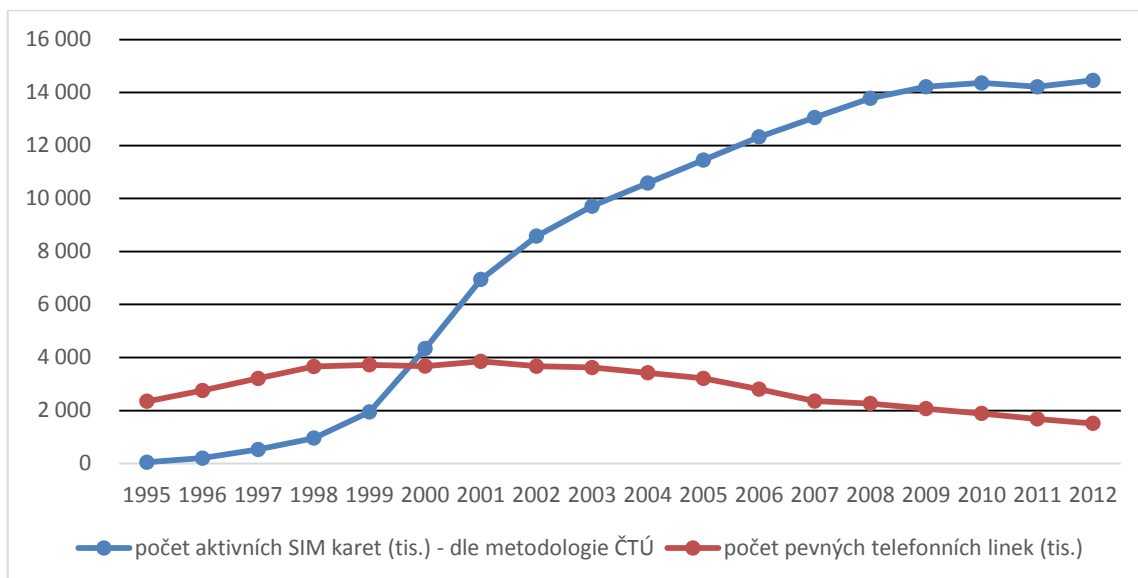
Dalším zajímavým hlediskem je rozvoj SIM karet z pohledu jejich typu. Rozlišují se 2 typy SIM karet prepaid – předplacené a postpaid – tarifní. Hlavním rozdílem je, že v případě

předplacených karet je nutné tzv. dobít kredit a v případě tarifních karet se platí za určité zúčtovací období, nejčastěji měsíc, tzv. paušální poplatek. Z počátku značně převyšoval počet předplacených karet počet tarifních, ale postupně docházelo k menšímu poklesu tarifních a velkému nárůstu smluvních karet. V roce 2010 došlo k překročení počtu předplacených karet kartami tarifními a pokračuje to tak i nadále. U tarifních SIM karet uzavírají uživatelé s operátorem smlouvu, tzv. zamykání báze, čímž se snaží docílit minimalizace odchodu zákazníků. Operátoři se snaží zákazníkům se smlouvou nabízet výhodnější podmínky než v případě předplacených karet, což také vede k přelivu zákazníku mezi kategoriemi.



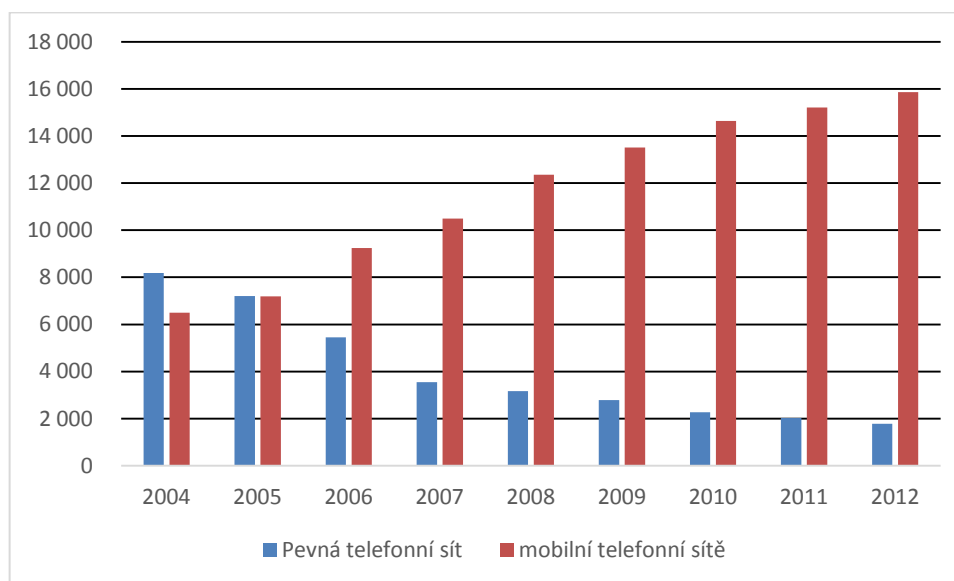
Obrázek 3 - Srovnání počtu předplacených a smluvních karet podle počtu zákazníků v ČR (v tisících) [38]

V případě porovnání mobilní a fixní sítě z pohledu počtu SIM karet a počtu pevných linek se projevuje fakt, že mobilní telefon je pro jednotlivce, zatímco pevná linka připadá spíše na domácnost. Jak již bylo zmíněno, v roce 1999 došlo k nastartování největšího rozmachu co do počtu SIM karet a zároveň začal částečný úpadek počtu pevných linek. V roce 2000 předčil počet aktivních SIM karet počet pevných linek, příčinou může být fakt, že z mobilního telefonu se stala substituce pro pevnou linku a mobilní technologie ovládly trh nebo také vstup třetího operátora na trh mobilních komunikací.



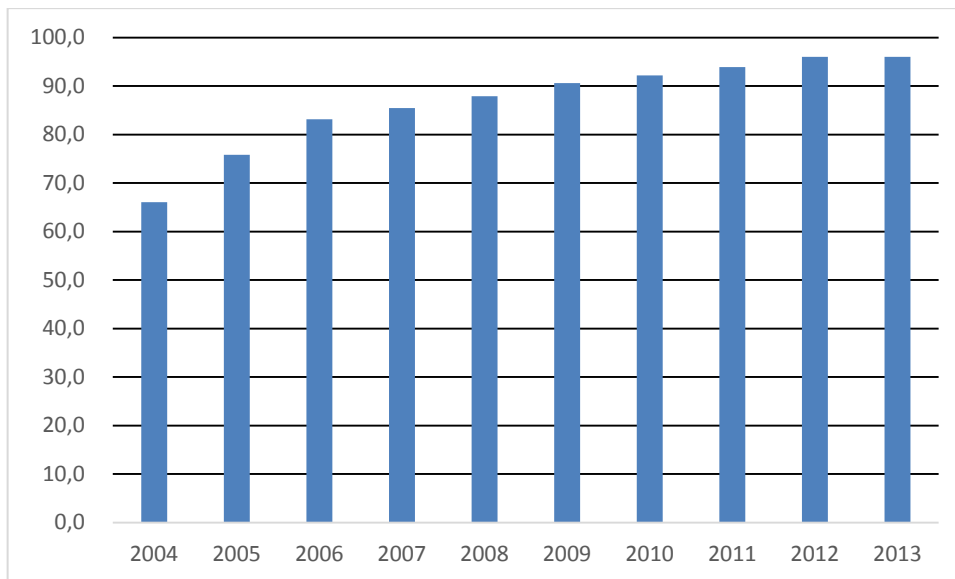
Obrázek 4 - Srovnání počtu účastníků mobilní a pevné sítě v ČR (v tisících) [38]

Výše uvedená fakta jsou ještě podtržena porovnáním provolaných minut v milionech v jednotlivých oblastech.



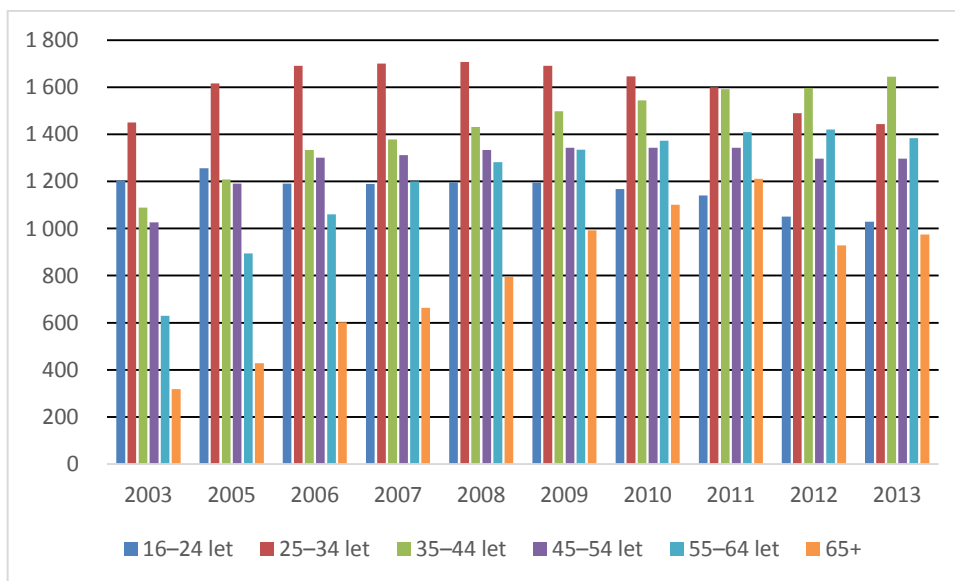
Obrázek 5 - Národní odchozí telefonní provoz v ČR (počet provolaných minut v milionech) [38]

Nárůst penetrace mobilními telefony je obdobného rázu jako počet aktivních SIM karet, je zde tedy viditelný trend vlastnictví více SIM karet a více mobilních zařízení. Tento velice zajímavý vývoj zobrazuje graf.



Obrázek 6 - Penetrace mobilním telefonem 16 let a starší v ČR (v procentech) [38]

Další graf zobrazuje rostoucí počet telefonů v rámci jednotlivých věkových kategorií. Penetrace v jednotlivých kategoriích je dána jak demografickým vývojem, tak přizpůsobivostí výrobců mobilních zařízení, kteří se snaží svá portfolia přizpůsobit požadavkům jednotlivých věkových skupin. Také lze konstatovat, že mobilní trh v České republice je saturovaný, což je možné vidět na grafu počtu SIM karet a také na procentu penetrace mobilními telefony u starších věkových skupin.



Obrázek 7 - Penetrace mobilním telefonem dle věkových skupin v ČR (v tisících) [38]



Stále více uživatelů používá chytré telefony, jejichž podíl v síti kontinuálně stoupá. S tímto nárůstem souvisí i nárůst mobilního datového provozu. Díky tomu je tato oblast mobilních služeb v meziročním srovnání velice výnosná a podle stávajícího vývoje bude tento trend rostoucí i nadále. V rámci operátora Telefónica/O2 tvořily chytré telefony v roce 2011 více než 20 % prodaných zařízení a číslo i nadále stoupá, v roce 2012 vzrostlo na 27 %, v roce 2013 představovalo už 35 % a v polovině roku 2014 to činilo 38 %. [39] Lze předpokládat, že v rámci prodeje ostatních operátorů bude tato situace obdobná. S nárůstem penetrace chytrými telefony se očekává také změna struktury mobilních terminálů:

Typ zařízení	2010	2015	2020
Nenáročné telefony	76,6 %	38 %	17,2 %
Chytré telefony – střední třída	7 %	31 %	40 %
Chytré telefony – vyšší třída	12,5 %	16 %	20,5 %
Mobilní modemy	2,5 %	6 %	6,7 %
Tablety, čtečky apod.	0,4 %	5 %	8,8 %
M2M	1 %	3 %	6,7 %

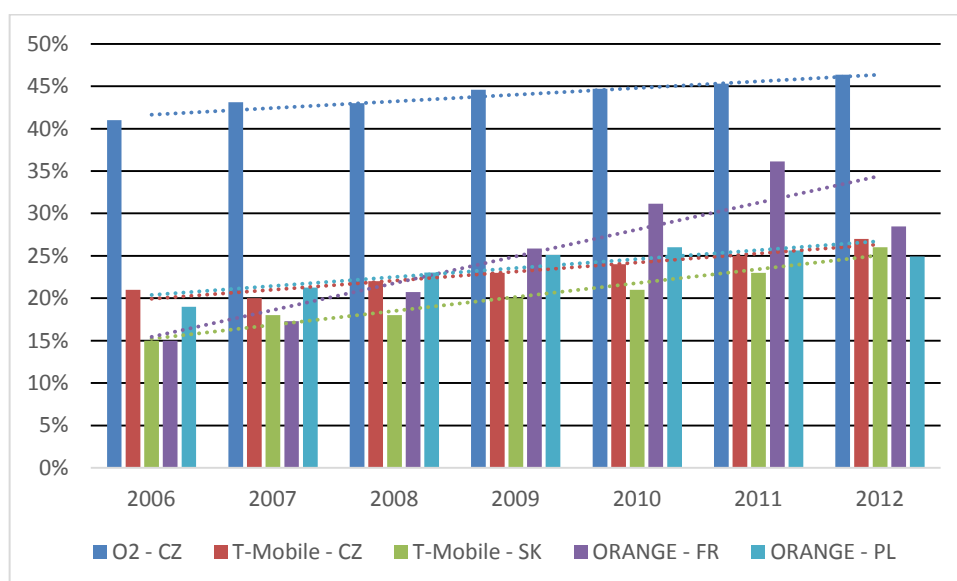
Tabulka 2 - Predikce změny struktury mobilních terminálů [113]

Společně se změnou struktury mobilních terminálů se bude měnit měsíční objem datového provozu na mobilní terminál:

Typ zařízení	2010	2015	2020
Nenáročné telefony	26	73	119
Chytré telefony – střední třída	44	338	665
Chytré telefony – vyšší třída	140	1020	1900
Mobilní modemy	775	2813	4850
Tablety, čtečky apod.	48	568	1088
M2M	1	6	10

Tabulka 3 - Predikce měsíčního objemu datového provozu na mobilní terminál v MB [113]

Cena za bit (cost per bit) se u nových systémů oproti předchozím technologiím změnila díky větší spektrální účinnosti, ale jsou zde také další faktory. Využití mobilních dat exponenciálně roste a **ARPU** (*Average Revenue Per User*) klesá téměř stejně rychle. ARPU, neboli průměrný zisk na zákazníka, je měřítkem, které používají především poskytovatelé mobilních služeb. Měří množství příjmů vytvořených jedním uživatelem za měsíc. Měření výnosů na jednoho zákazníka nebo na jednotku může pomoci vysvětlit, jak dobře generuje konkrétní služba příjmy. Toto měřítko lze také použít v porovnání s jinou metrikou. Můžeme například zjistit, jestli je společnost ve ztrátě nebo v zisku, když odečteme pořizovací cenu uživatele od ARPU. Provozovatelé sítě prakticky na každém trhu mění podmínky ve způsobu, jakým doručují služby uživateli. Pro poskytovatele je nutné se strategicky zaměřit na rostoucí požadavky uživatelů. Pouze opatrné a dobře plánované volby ohledně mobilních sítí nové generace pomohou operátorům přežít ve stále více konkurenčním prostředí. Do jisté míry se povedlo poskytovatelům ARPU stabilizovat budováním mobilních širokopásmových sítí a také dosažením vysoké úrovně penetrace chytrými telefony v rámci své zákaznické základny. Dalším způsobem jak je možné stabilizovat ARPU je správné nastavení cen, datových plánů a přechod z neomezených datových plánů na omezené. Může nastat také situace, kdy operátoři z důvodu stabilizace ARPU začnou nabízet dodatečné služby, jako například cloudové úložiště, služby poskytující multimediální obsah (televize, hudba) apod.



Obrázek 8 - Vývoj ARPU za nehlasové služby [39],[110],[111]

Z grafu je jasně zřejmý pokles zájmu o běžné hlasové služby, na jejichž úkor se zvyšuje zájem o hlasové služby založené na principu VoIP. Největším konkurentem pro běžné hlasové služby je technologie VoLTE, která byla standardizována pro hlasové služby v LTE. Zřejmý je také trend narůstajícího zájmu o datové služby díky navyšování pokrytí, přenosových rychlostí a kapacity. To vše vychází především z rozvoje LTE ekosystému, do kterého plyne většina investic operátorů a další modernizace sítě a infrastruktury obecně. Základní konektivita se díky tomu stává přístupná pro většinu populace. Datová komunikace poroste i nadále především z důvodu neustálého růstu komunikace M2M. Také permanentní připojení na sociální sítě se stává pro mobilní uživatele velice důležitým obsahem, což vytváří poměrně značný objem provozu stejně jako streamované služby, které se stávají největším zdrojem datového provozu.

Predikce vývoje struktury datového provozu dle služby:

Typ služby	2013	2019
Sdílení souborů	6 %	2 %
Video	39 %	53 %
Audio	2 %	2 %
Prohlížení webu	10 %	6 %
Sociální sítě	12 %	13 %
Stahování a aktualizace SW	6 %	5 %
Ostatní – šifrované	7 %	7 %
Ostatní	17 %	13 %

Tabulka 4 - Predikce vývoje struktury datového provozu dle služby [114]

Pokrytí populace a území:

Operátor	Pokrytí obyvatelstva	Pokrytí území
O2	80,5 %	42,1 %
T-Mobile	81,5 %	43,9 %
Vodafone	91,7 %	75,8 %

Tabulka 5 - Procentuální pokrytí populace a území v ČR [40]

Základní datová konektivita založená na standardech 2G je dostupná převážné většině populace. Pokrytí dalšími technologiemi se v poslední době rozvíjí hlavně díky rozvojovým kritériím, která byla stanovena Českým telekomunikačním úřadem. Je také nutné podotknout, že územní pokrytí představuje mnohem nižší číslo, než pokrytí populace, které je tvořeno hlavně velkými městy.

### 3.1 Výsledky aukce

Obecně přerozdělování kmitočtů z digitální dividendy otevřelo další možnosti rozvoje sítí a služeb poskytovaných operátory. Na straně druhé však díky aukcím vznikly prodlevy, které pozdržely tento rozvoj. V zemích Evropské unie došlo k rozdělení kmitočtů zatím ve 21 z celkového počtu 28 zemí, ale téměř nikde nebyl dodržen termín, do kdy se měla aukce konat. Český telekomunikační úřad si sliboval nastavením podmínek aukce vznik minimálně jednoho nového poskytovatele s celoplošným pokrytím. Podmínky byly nastaveny tak, aby byl nový subjekt na našem telekomunikačním trhu pozitivně diskriminován. Pozitivní diskriminace spočívá v závazku národního roamingu. Tato podmínka umožňuje novému subjektu na trhu využívat sítě konkurentů, aby nezaostal za ostatními co do pokrytí a poskytovaných služeb po dobu než si vybuduje svou síť. Povinnost národního roamingu je spojena s nákupem kmitočtů v pásmu 800 MHz, čímž se k tomu operátor zavazuje, a týká se všech technologií po dobu 8 let. S kmitočty byla také spojena rozvojová kritéria, která se stala povinností pro operátory, kteří získali přiděl, nejstriktnější jsou pro pásmo 800 MHz. V rozvojových kritériích pro pásmo 800 MHz byly rozděleny okresy do dvou skupin A a B, operátor musí do 30 měsíců pokrýt alespoň 30 okresů za skupiny A. Dále musí do 5 let pokrýt 100 % okresů skupiny A a alespoň 22 okresů skupiny B plus alespoň 50 % železničních koridorů, dálnic a rychlostních komunikací. Do 7 let musí pokrýt 100 % všech okresů, koridorů, dálnic a rychlostních silnic. Ve skupině A převažují řídké osídlené oblasti a skupinu B představují ostatní okresy. Pokrytí může být i stávající 3G sítí s rychlostí v sestupném směru alespoň 2 Mbit/s. [43] Podmínky aukce kmitočtů zajišťují, že nedojde opět k situaci jako v případě kmitočtů pro mobilní sítě třetí generace, tedy k pozdnímu nasazení technologií. Zpoždění bylo až 9 let, neboť podmínky původní aukce neobsahovaly žádná rozvojová kritéria.

Aukce o uvolněná kmitočtová pásma se účastnily společnosti:

- Vodafone Czech Republic a.s.,
- T-Mobile Czech Republic a.s.,
- Telefónica Czech Republic a.s. (nyní O2 Czech Republic a.s.),
- Revolution Mobile a.s.
- SAZKA Telecommunications a.s.

Zvolený formát aukce byla **SMRA** (*Simultaneous Multiple Round Auction*), tzv. souběžná více kolová aukce. Základní princip aukce spočívá v současné nabídce všech bloků, v každém kole jsou umísťovány nabídky na vybrané bloky, po každém kole jsou všem dostupné informace o cenách apod. Při aukci v pásmu 800 MHz muselo z důvodu nezájmu nových subjektu dojít k převodu vyhrazeného pásma na volné. Blok A1, který byl konkrétní, získala společnost T-Mobile za vyhlášovací cenu. O tento blok nebyl takový zájem, protože je v těsné blízkosti k frekvencím používaným pro digitální televizní vysílání a mohlo by zde tedy docházet k vzájemnému rušení signálu. Vodafone získal druhý z konkrétních bloků, tedy blok A3, o který byl dle ceny největší zájem především díky tomu, že se jedná o souběžný blok 2x10 MHz a jde o blok konkrétní. V pásmu 1800 MHz získal T-Mobile dva bloky, Vodafone čtyři a Telefónica tři. Blok B1, který byl určen pro nový subjekt, nebyl vydražen. O pásmo 2600 MHz byl zájem nejmenší a o nepárovou část tohoto pásma byl zájem nulový. Aukční řád umožňoval dohodu mezi operátory týkající se rozdělení abstraktních bloků. Pokud se nedohodnou, rozhodne regulátor. Díky tomu získali operátoři T-Mobile a Telefónica dva sousedící bloky v pásmu 800 MHz.

Výsledky aukce jsou shrnuty v následující tabulce:

	Pásmo 800 MHz			Pásmo 1800 MHz			Pásmo 2600 MHz		
	Bloky	Celkem	Cena	Bloky	Celkem	Cena	Bloky	Celkem	Cena
Telefónica	2-1, 2-2	20 MHz	2386,5	1, 6, 7	6 MHz	96	1, 2, 3, 4	40 MHz	320
T-Mobile	1, 2-3	20 MHz	2231	2, 4	4 MHz	63	5, 6, 7, 8	40 MHz	320
Vodafone	3	20 MHz	2664	3, 5, 8, 9	8 MHz	129	11, 12, 13, 14	40 MHz	320

Tabulka 6 - Souhrn výsledků aukce kmitočtů (uvedené ceny jsou v miliónech Kč) [41]

Aukční řád umožňoval dohodu mezi operátory týkající se rozdělení abstraktních bloků. Pokud se nedohodnou, rozhodne regulátor. Díky tomu získali operátoři T-Mobile a Telefonica dva sousedící bloky v pásmu 800 MHz. Jednou z možností oživení trhu měl být příchod nového operátora na trh českých komunikací prostřednictvím aukce kmitočtů. K tomu i přes nastavení podmínek, které podporovaly vstup nového subjektu na trh, nedošlo a noví uchazeči z aukce odstoupili. Také díky tomu nebyly některé z kmitočtů zahrnutých do aukce rozděleny mezi operátory. Týká se to bloků v pásmech 1800 MHz a 2600 MHz. Toto spektrum může být v budoucnu poskytnuto jako doplněk ke stávajícímu za účelem zvýšení kapacity. Český telekomunikační úřad již připravil podmínky, za kterých budou prodány licence k využívání těchto kmitočtů.

Druhou možností oživení trhu je virtuální operátor, který se v ČR poprvé objevil na podzim roku 2012. Jednalo se o BLESKmobil, který ale není virtuálním operátorem v pravém slova smyslu, neboť jde spíše o přeprodej služeb bez jakékoliv přidané hodnoty. Svůj vstup na trh ve formě virtuálního operátora již oznámilo několik dalších společností.

### 3.2 Virtuální operátoři

V současnosti u nás rovněž dochází k rozvoji a vzniku tzv. virtuálních operátorů. Tento typ poskytovatele mobilních služeb byl v případě České republiky povolen až na základě novely zákona č.127/2005Sb., o elektronických komunikacích, ve znění pozdějších předpisů [35]. Do té doby nebylo možné tento subjekt zřizovat a provozovat. **MNO**, *Mobile Network Operator*, tedy běžný operátor má svou vlastní síťovou infrastrukturu a licenci na provozování služeb v určitém frekvenčním pásmu. Tento operátor je zodpovědný za poskytované služby, síť, přímé účtování svých zákazníků nebo nepřímé účtování zákazníků MNVO. Virtuální operátor, **MVNO** z anglickém *Mobile Virtual Network Operator*, je poskytovatel bezdrátových komunikačních služeb, který však nevlastní žádný frekvenční přiděl ani bezdrátovou část sítě. Virtuální operátor uzavře smlouvu s operátorem mobilní sítě, ve které chce působit. Smlouva je uzavřená ve formě tzv. velkoobchodní nabídky, pro zákazníky MVNO nastaví maloobchodní ceny sám. MVNO strategicky nabízí své služby buď pro masový trh, nebo pro určitou cílovou skupinu. Pro MNO má smysl svou síť otevřít pro MVNO v případě že:

- Růst zákazníků MNO je omezen z důvodu nasycení trhu

- Oblast zájmu MVNO není dostatečně obsazena MNO
- MVNO nebude v dané oblasti konkurovat nízkou cenou

Na světových telekomunikačních trzích existuje několik kategorií MVNO, dělíme je podle zaměření na koncové zákazníky.

- Obchodní MVNO (Business MVNO)

Poskytují služby firemním zaměstnancům nebo větším skupinám za zvýhodněných podmínek.

- Diskontní MVNO (Discount MVNO)

Touto formou nabízejí například obchodní řetězce svým zákazníkům nízkonákladové služby.

- Lifestylové MVNO (Lifestyle MVNO)

Snaží se zaujmout nabídkou cílenou na určitou skupinu jako například pro seniory nebo pro mladé lidi.

- Reklamní MVNO (Advertising-funded MVNO)

Využívá vztahů mezi operátorem a zákazníkem, zpeněžuje tento vztah šířením reklamy. Za příjem reklamy nabízí levnější nebo volné služby.

- Etnické MVNO (Ethnic MVNO)

Tento mobilní virtuální operátor se zaměřuje hlavně na vybranou skupinu, především cizince v dané zemi a poskytuje výhodné služby jako například hovory do země, ze které pochází.

- Datový MVNO (Data MVNO)

Jak již plyne z názvu, tento typ virtuálního operátora se zabývá pouze poskytováním datových služeb pro své koncové zákazníky.

- Předprodej služeb (Service Reseller MVNO)

Vlastní pouze své prodejní kanály a stará se o svůj marketing.

- M2M MVNO

Specializuje se na poskytování služeb pro komunikaci M2M.

Mobilní virtuální operátoři reprezentují zatím malou část trhu. Jejich vstup na trh však přináší širší možnosti volby pro zákazníky a má také vliv na ceny dalších poskytovatelů.

### 3.3 Sdílení v mobilních sítích

Většina evropských zemí povoluje a dokonce podporuje sdílení infrastruktury mezi operátory. Česká republika není výjimkou. V našem případě jde o sdílení sítě společností T-Mobile Czech Republic a.s. a O2 Czech Republic a.s. Operátoři chtějí sdílet síť na celém území České republiky, mimo území Brna a Prahy. T-Mobile bude zodpovědný za provoz a správu sítě v západní části republiky a O2 bude zabezpečovat východní část republiky. Obecně je důvodem pro sdílení sítí snížení počtu provozovaných základnových stanic ve vlastní síti, zvýšení počtu základnových stanic, snížení provozních nákladů, efektivní investice, rychlejší výstavba a spuštění sítě. [44]

Sdílení sítě je velmi složitý proces a existuje celá řada faktorů, které je nutné posoudit před samotným zahájeným proces sdílení. Možností sdílení sítí sahají od sdílení základnových stanic a jiných zařízení až ke sdílení celé mobilní sítě. Technicky lze tyto možnosti rozdělit obecně do tří kategorií:

- Pasivní sdílení
- Aktivní sdílení
- Sdílení založené na roamingu

Pasivní sdílení představuje sdílení pasivní infrastruktury, jako jsou stavební prostory, místa a stožáry, vedení apod. Tento typ sdílení představuje mírnou formu sdílení v síti, neboť jsou stále odděleny sítě, sdílí se pouze fyzické prostory. Sdílení prostorů, lokalit, umožňuje operátorům snížit náklady snížením investic do pasivní síťové infrastruktury a provozních nákladů sítě. Většina dohod o sdílení prostorů neomezuje hospodářskou soutěž mezi operátory. Umožňuje jim udržovat nezávislou kontrolu nad sítí i službami. Aktivní sdílení představuje složitější typ sdílení sítě, kde operátoři sdílejí aktivní prvky mobilní sítě, jako jsou antény, rádiové uzly apod. Roaming v síti může být také považován za formu sdílení, i když provoz účastníka jednoho operátora je přenášen přes síť jiného operátora. Nejsou zde však žádné požadavky na sdílení síťových prvků, proto tento typ často operátoři neklasifikují jako sdílení sítě. Nevyžaduje žádné společné investice do infrastruktury.

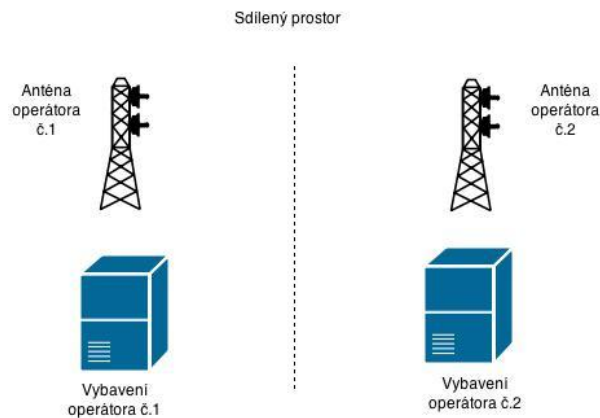
Sdílení lze podrobněji rozdělit následovně:

- Sdílení prostorů



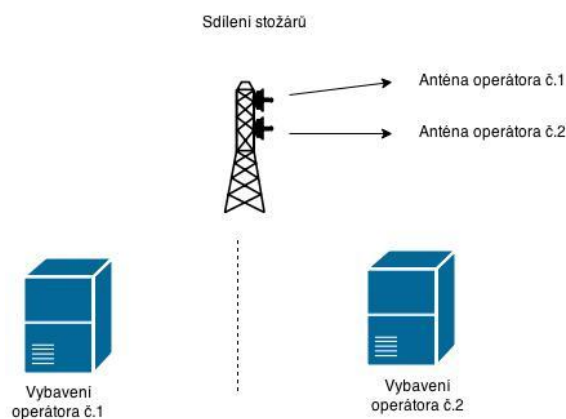
- Sdílení stožárů
- Sdílení přístupové části sítě
- Sdílení založeno na roamingu
- Sdílení jádra sítě

Sdílení stavebních míst je pravděpodobně nejjednodušší formou sdílení a také nejčastěji realizovanou formou sdílení. Provozovatelé sdílí stejné místnosti, ale budují samostatně stožáry, antény, skříně a páteřní síť, viz obrázek. Tato forma sdílení je často upřednostňována v městských a příměstských oblastech, kde je nedostatek míst nebo komplexu, které splňují požadavky.



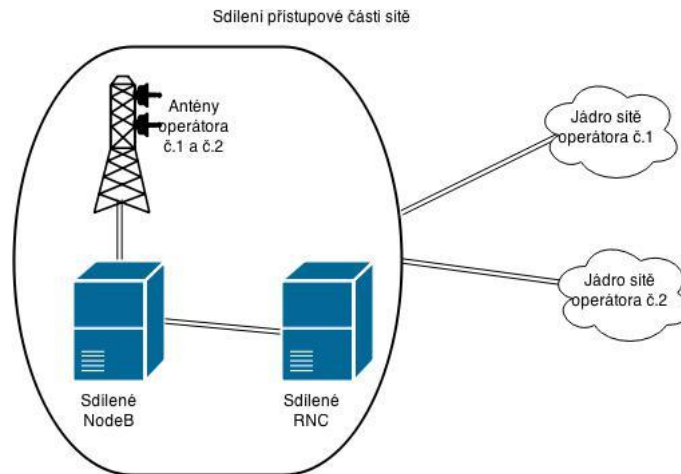
Obrázek 9 - Způsob sdílení prostorů mezi operátory [46][47]

Sdílení stožárů využívá již vybudovaných věží jednoho z operátorů, kam instalují vlastní antény. Díky tomuto sdílení může operátor snížit náklady.



Obrázek 10 - Způsob sdílení věží mezi operátory [46][47]

Sdílení přístupové části sítě je nejkompexnější formou sdílení. Jedná se formu sdílení všech síťových zařízení, včetně antén, stožárů a připojení k páteřní síti. Komunikace je realizována v rámci společné sítě až do bodů, kde dochází k rozdělení do páteřních sítí jednotlivých operátorů.



Obrázek 11 - Způsob sdílení přístupové sítě mezi operátory [46][47]

Sdílení založené na roamingu můžeme rozdělit do tří kategorií:

- Národní roaming
- Mezinárodní roaming
- Mezisystémový roaming

K národnímu roamingu dojde mezi subjekty, které působí na stejném území a poskytují zde své služby. Dříve byla tato forma roamingu velice neobvyklá. Převážně se využívá v situaci, kdy nový účastník na trhu potřebuje rychle vybudovat svou síť nebo tímto způsobem může také operátor kompenzovat absenci pokrytí na určité části území. Výhodou tohoto typu sdílení je tedy zvýšení pokrytí a snížení investic do infrastruktury.

Mezinárodní roaming je velice podobný národnímu roamingu, ale dochází k němu v rámci operátorů z jiných zemí, čímž umožňuje rozšíření pokrytí služeb. Uživatelé mohou i nadále využívat svá mobilní zařízení a služby, které jim tato zařízení umožňují. Roaming na mezinárodní úrovni je složitější v tom, že se pro danou technologii v zahraničí může být vyhrazeno jiné frekvenční pásmo. V tomto případě je tedy nutné, aby zařízení bylo schopné pracovat v různých pásmech.

Mezisytemový roaming, se týká sítí fungujících na jiných standardech a architekturách jako například roaming mezi 3G a GSM. Obecně usnadňuje zavádění nových technologií a systémů, neboť jde o mechanismus, který poskytuje pokrytí během spuštění nové technologie. Pomáhá vytvářet příjmy i během migrace, aniž by uživatelé registrovali jakýkoliv výpadek služby. V podstatě jde pouze o migraci mezi standardy v rámci sítě jednoho operátora.

Sdílení jádra sítě se týká sdílení serverů a základních síťových funkcí kromě rádiové části sítě. Jádro sítě plní několik základních funkcí nezbytných pro fungování operátora a obsahuje velké množství informací týkajících se provozovatelů. Na základě toho může být složité pro konkurenční subjekty sdílet jádro sítě. Přesto existují jiné možnosti sdílení, které využívají společné jádro sítě. Tyto případy využívají společnou a vlastní část jádra sítě, kde jsou fyzicky odděleny kontrolní funkce a služby.

Důvody ke sdílení infrastruktury jsou především finanční. Nejčastěji využívané typy sdílení se liší podle úrovně vyspělosti daného trhu. V raných fázích dochází nejvíce ke sdílení prostorů a sdílení založeném na roamingu, nejčastěji ve formě národního roamingu. Tyto typy sdílení slouží především pro nové subjekty na trhu a v počátečních fázích usnadní rychlé nasazení a spuštění za nižší náklady. Podpora sdílení může snížit také investice dominantních operátorů. Dalším důvodem proč se operátoři ubírají ke sdílení sítí, je fakt, že mobilní sítě po technické stránce stárnou a vyžadují inovace. V souvislosti s tím vzniká možnost pro více operátorů společně vybudovat sdílenou síť a třeba také rozšířit své pokrytí. Zejména ze strategických a obchodních důvodů jako je již zmíněné rozšíření sítě do oblastí, kde nemá jeden z operátorů pokrytí, snížení nákladů, optimalizace investičních nákladů, se operátoři to těchto společných akcí pouštějí. Klíčovými faktory, které se týkají pouze sdílení prostorů je především zrychlení doby na výstavbu nové lokality i zjednodušení v získání nezbytných povolení, která mohou prodloužit čekací dobu, zkomplikovat výstavbu a spuštění sítě. Jde o společný problém jak nově vstupujícího subjektu na trh, tak i zaběhnutých operátorů. V městských oblastech, kde se využitelné prostory nacházejí na střeších a vysokých budovách, nemají operátoři příliš na výběr jaké místo si zvolit, a proto se ubírají směrem ke sdílení. Na venkově je situace obdobná, stavební náklady, přívod elektřiny apod., představují významné procento z celkových nákladů na vybudování dané oblasti. V případech jako

je tento je pro operátory jednodušší se podělit o investice, čímž si sníží náklady spojené s budováním v dané oblasti. Obdobné uvažování je při sdílení věží. Pasivní části mohou tvořit vysoké procento celkových nákladů na vybudování sítě, je zde tedy velká možnost ušetřit. Důvody, které vedou operátory ke sdílení přístupové části sítě, jsou především reakcí na trend poklesu ARPU. Sdílení této části sítě přináší značné úspory a jedná se také o zajímavý typ sdílení z pohledu pokrytí. Sdílení přístupové části sítě není často viděnou formou sdílení. Pokud chce operátor poskytovat pokrytí v určité oblasti, nemusí nutně volit řešení sdílením přístupové části sítě, ale může se ubírat směrem roamingu. Nicméně se nejedná o dlouhodobé řešení, jde spíše o přechodné řešení po dobu, než si operátor vybuduje pokrytí v dané oblasti.

## 4 Faktory ovlivňující budoucí vývoj mobilních komunikací

### 4.1 Kmitočtové spektrum

Jedním z faktorů, který jak v minulosti, tak i nadále bude nejvíce ovlivňovat rozvoj mobilních sítí je především kmitočtové spektrum. Spektrum představuje radiové frekvence o kmitočtu 10 kHz až 3000 GHz, jenž lze využít pro bezdrátovou komunikaci a může být určitým způsobem považováno za vzácný, ale obnovitelný zdroj. Frekvenční spektrum není nevýčerpatelné a z toho důvodu musí být jeho využívání řízeno, aby byl zajištěn efektivní a spravedlivý přístup ke službám, které ho využívají. Poptávka a využití spektra se dramaticky zvyšují v důsledku rychlého vývoje telekomunikačních technologií a služeb.

Jak již bylo zmíněno, za účelem efektivního a spravedlivého přístupu, ale především také z důvodu minimalizace interferencí je nutné spektrum určitým způsobem spravovat. Správa spektra tedy představuje proces regulace využití frekvencí a přidělování licencí na jeho využívání. Licencování frekvenčních pásem bylo zavedeno za účelem snížení interferencí. Efektivní správa spektra vyžaduje regulaci na státní, regionální i globální úrovni. Cílem regulace je optimalizace využití frekvenčního spektra, vyhnout se a případně řešit rušení, návrh využitelných rozsahů, koordinace bezdrátových technologií. To vše napomáhá k zavádění nových bezdrátových technologií.

Spektrum se dělí na skupiny nebo kategorie, kdy každá je vhodnější pro jiný druh vysílání. Rozdělení je následovné:

- Velmi dlouhé vlny (VLF) 3 kHz až 30 kHz
- Dlouhé vlny (LF) 30 kHz až 300 kHz
- Střední vlny (MF) 300 kHz až 3000 kHz
- Krátké vlny (HF) 3 MHz až 30 MHz
- Velmi krátké vlny (VHF) 30 MHz až 300 MHz
- Decimetrové (ultra krátké) vlny (UHF) 300 MHz až 3 GHz
- Centimetrové vlny (SHF) 3 GHz až 30 GHz
- Milimetrové vlny (EHF) 30 GHz až 300 GHz

Hlavním rozdílem mezi jednotlivými pásmy jsou různé vlastnosti z hlediska šíření a s tím spojené využití. Vezmeme-li v potaz charakter této práce je nejvýznamnější pásmo 300 MHz až 3 GHz, tedy UHF. Frekvence v tomto pásmu jsou využívány pro přenos televizního vysílání, mobilní sítě, kosmické spoje a radiolokační služby. V pásmu UHF jsou provozovány mobilní technologie jako GSM, UMTS, LTE apod.

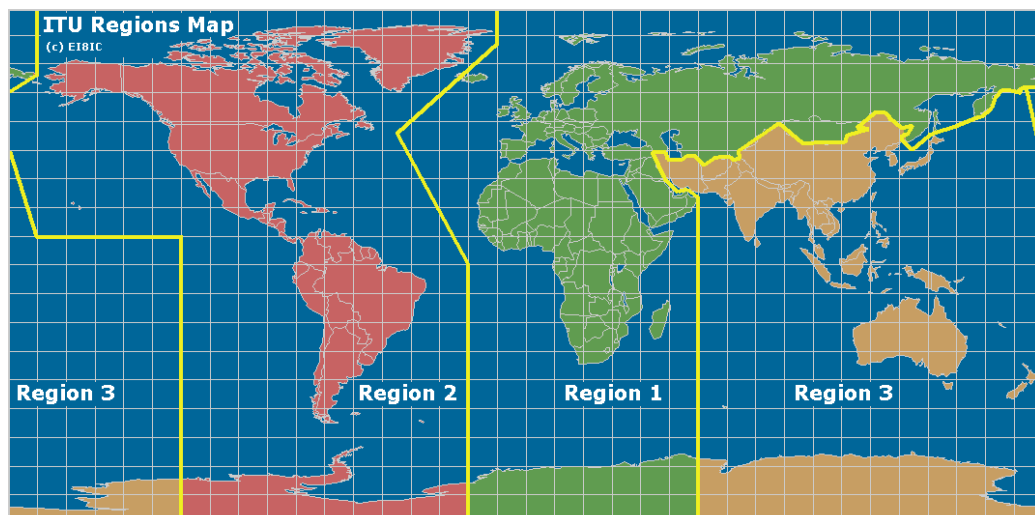
Úkolem správce spektra je také plánování dopředu, aby mohly být poskytovány nové služby. Nutností je zajistit včasný přístup ke spektru prostřednictvím plánování a aplikací odpovídajících regulačních postupů. Regulace není pouze administrativním rozhodnutím, ale je současně také politickým rozhodnutím. Určuje se prioritita služeb, které mohou být v daném pásmu provozovány. Předpokládá se, že větší důležitost bude udělena službám sloužícím k informování obyvatelstva. Vysílání informativního charakteru, tedy televizní a rozhlasové, proto dostává vyšší prioritu a zastává významnější prostor ve spektru. Obsazení spektra není pouze otázkou důležitosti, ale také náročnosti přenosu. Nové technologie vysílání ale tuto náročnost snižují, čímž šetří frekvenční spektrum. Díky tomuto snížení lze zbylá pásma využít pro jiné technologie, u kterých naopak dochází ke zvýšení požadavků a náročnosti.

Potřeba regulace vedla k dohodě členských států **OSN** (*Organizace Spojených Národů*), která byla vyjádřena Mezinárodní úmluvou o telekomunikacích. Na základě této úmluvy byla založena Mezinárodní telekomunikační unie, ITU. Role tohoto úřadu spočívá ve vytváření podmínek, předpisů a návrhů, které se především týkají využívání spektra. Tyto podmínky a pravidla jsou průběžně formulovány na Světových radiokomunikačních konferencích, kterých se účastní zodpovědné orgány jednotlivých členských zemí. Vytvořená pravidla tvoří Radiokomunikační řád, který je součástí Mezinárodní úmluvy o telekomunikacích. Nejdůležitější body základního ustanovení Radiokomunikačního řádu se především týkají způsobu využití kmitočtového spektra, rozdělení pásem, přidělování kmitočtů jednotlivým službám, součinnosti na stejných nebo blízkých kmitočtech a koordinace přidělování kmitočtů novým službám.

Za účelem správy byl v roce 2005 zákonem č. 127/2005 Sb. [35], zřízen Český telekomunikační úřad, jehož hlavní působnost spočívá v regulaci elektronických komunikací a správy kmitočtového spektra.

V poslední době měl ČTÚ především za úkol stanovení podmínek užívání a aukce na přidělení licencí v kmitočtových pásmech 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz. V blízké době čeká na ČTÚ další nelehký úkol, který na dlouho dobu předem určí vývoj na českém telekomunikačním trhu. Tento úkol spočívá, stejně jako tomu bylo u kmitočtů z Digitální dividendy I, v rozdělení kmitočtů. V případě Digitální dividendy I byly kmitočty uvolněny díky přechodu k televiznímu vysílání **DVB-T** (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*). Digitální revoluce se sítí celým světem napříč tradičním vysíláním a telekomunikacemi, přináší významné změny ve způsobu jakým je obsah a související služby vytvářeny a distribuovány. Rostoucí význam kmitočtového spektra ve světě znamená, že správa spektra je důležitá pro ekonomický a sociální rozvoj. Uvolněním spektra přechodem z analogového televizního vysílání na digitální vysílání se dostávají správci spektra k otázce jak správně zacházet s touto digitální dividendou. Přerozdělení spektra je důležitým aspektem přechodu na digitální televizní vysílání, jsou zde ale i jiné důvody zavedení digitálního vysílání. Kromě zlepšení účinnosti využití spektra to přináší výhody i pro spotřebitele. Proces přidělení digitální dividendy je úzce spjat se zavedením digitálního pozemního televizního vysílání. V příštích letech dojde k podobnému procesu jako u Digitální dividendy I, tedy k uvolnění části spektra, Digitální dividendy II, přechodem na jinou technologii, v tomto případě na technologii DVB-T2. Hlavní předností technologie DVB-T2 oproti DVB-T je snížení nároků na kmitočtové pásmo díky snížení datové náročnosti, lze tedy přenést více dat stejným kanálem. V současné době v České republice probíhají i nadále testy, které poslouží Českému telekomunikačnímu úřadu v procesu plánování a pro stanovení budoucích podmínek provozu. Především se zkoumá možnost rušení DVB-T2 příjmu ze strany nových mobilních sítí, např. LTE. Další uvolnění kmitočtů může přispět k rozvoji nové technologie jako například LTE – Advanced. Vzhledem k vyjádřením ohledně testování a uvolnění kmitočtů se dá předpokládat, že se spíše bude jednat o technologie nové 5. generace mobilních sítí. Digitální dividenda II z počátku byla spíše pouze úvahou, ale po konferenci **WRC** (*World Radiocommunication Conference*) v roce 2012, kde byly předloženy návrhy africkými a arabskými státy, které se týkaly pásma pod pásmem 800 MHz, se možnost využití frekvenčního pásma 694 MHz až 790 MHz v ITU Regionu 1 zdá pravděpodobnější i přesto, že rozhodnutí ohledně Digitální dividendy II bylo odloženo na konferenci WRC konanou v listopadu 2015. Už nyní je jasné, že tlak mobilních operátorů na uvolnění

dalších frekvencí bude vysoký, neboť bude rozhodnuto o budoucnosti bezdrátových komunikací. Rozhodnutí bylo odloženo na rok 2015 z důvodu vytvoření potřebných technických studií, které mají rozhodnout o obsazení nového pásma před jeho používáním. Dá se předpokládat, že využití pásma pod kmitočtem 790 MHz pro mobilní sítě bude vyžadovat přepracování kmitočtových přidělů a může být časově a finančně náročné. Pásmo 700 MHz je intenzivně používáno pro pozemní vysílání v ITU Regionu 1. Regionální dělení bylo zavedeno, aby byla zajištěna efektivní správa spektra pro všechny členské země. Svět je dle ITU rozdělen do tří regionů, kde každý z nich má svou vlastní sadu rozdělení kmitočtových pásem, což je také hlavním důvodem pro definování oblastí.



Obrázek 12 - Regionální dělení dle ITU [120]

Státy, které předložily návrh na využití pásma 700 MHz, toto pásmo využívají minimálně a pásmo 800 MHz je využíváno pro vládní služby, a proto nemohlo být uvolněno pro nové mobilní sítě. Pro tyto země by se jednalo o řešení jejich situace, jelikož u nich neproběhlo přerozdělení kmitočtů Digitální dividendy I. Avšak i evropské státy budou do budoucna potřebovat další frekvence pro mobilní sítě nových generací. Zavedení nového rozdělení pásma 700 MHz může zapříčinit řadu problémů. Mnoho zemí v Evropě by z důvodu uvolnění pásma 700 MHz muselo nákladně přeladit stávající sítě. Licence ke kmitočtům z pásma 700 MHz byly poprvé uděleny v USA, kde byl přijat plán, který rozděluje pásmo 700 MHz do různých párových, nepárových bloků a speciálního bloku, který je vyčleněn pro budoucí služby mobilních sítí. V případě pásma 700 MHz je



tedy nutná mezinárodní harmonizace a spolupráce napříč všemi regiony. Toto pásmo by mohlo poskytnout další využitelné kmitočty pro služby mobilních sítí budoucnosti, ale bude nutná spolupráce všech regionů.

## 4.2 Aukce zbylých kmitočtů

Český telekomunikační úřad vydal návrh podmínek týkajících se vyhlášení výběrového řízení, které byly následně předloženy k diskusi, kde mohly zainteresované strany podávat připomínky. Aukce se bude týkat nepřidělených kmitočtů z Digitální dividendy I. v pásmech 1800 MHz a 2600 MHz. Cílem výběrového řízení je umožnit naplnění cílů definovaných Českým telekomunikačním úřadem:

- *rozvoj nových služeb elektronických komunikací prostřednictvím bezdrátových vysokorychlostních sítí, zejména mobilního charakteru a vytvoření podmínek pro technologickou inovaci;*
- *zajištění efektivního využití jednotlivých částí kmitočtového spektra ku prospěchu spotřebitelů;*
- *podpora hospodářské soutěže v oblasti služeb elektronických komunikací poskytovaných prostřednictvím veřejných sítí elektronických komunikací na velkoobchodní maloobchodní úrovni s dopadem na celý trh elektronických komunikací, cílená na přínos pro koncové uživatele;*
- *zefektivnění využívání pásma 1800 MHz prostřednictvím zajištění celistvosti jednotlivých přidělů rádiových kmitočtů v tomto pásmu (refarming) [48]*

Výběrové řízení bude mít stejnou formu jako původní aukce, tedy SMRA. Pásmo 1800 MHz je rozděleno na 2 samostatné abstraktní bloky 2 x 5 MHz a 2 samostatné abstraktní bloky 2 x 2,9 MHz.

		Kmitočtový rozsah v MHz			
Kategorie	Identifikátor	Sestupný směr	Vzestupný směr	Velikost úseku v MHz	Minimální cena (mil. Kč)
A	A-1	1805,1 - 1805,3	1710,1 - 1710,3	2 x 2,9	92,8
		1842,3 - 1845,0	1747,3 - 1750,0		
B	B-1	1845,0 - 1850,0	1750,0 - 1755,0	2 x 5,0	160
	B-2	1850,0 - 1855,0	1755,0 - 1760,0	2 x 5,0	160

Tabulka 7 - Rozdělení bloků v pásmu 1800 MHz [48]

Párová část pásma 2600 MHz bude nabízena jako jeden konkrétní blok 2 x 10 MHz a nepárová část bude nabízena také jako samostatný konkrétní blok o velikosti 50 MHz.

		Kmitočtový rozsah v MHz			
Kategorie	Identifikátor	Sestupný směr	Vzestupný směr	Velikost úseku v MHz	Minimální cena (mil. Kč)
C	C-1	2680,0 - 2690,0	2560,0 - 2570,0	2 x 10,0	160
D	D-1	2570,0 - 2620,0		50,0	216

Tabulka 8 - Rozdělení bloků v pásmu 2600 MHz [48]

Kmitočtová pásma podléhají technologické neutralitě, nevztahuje se na ně tady žádné technické omezení. Kmitočty v pásmu 1800 MHz a v párové části 2600 MHz nepodléhají rozvojovým kritériím. Může tedy dojít k podobnému zpoždění jako u aukce kmitočtů pro systémy 3G a zbytečnému hromadění spektra, kdy bylo jedinou rozvojovou podmínkou pokrytí města Prahy z 90 % technologií UMTS do 1. ledna 2005, tato doba byla na základě dohody s Českým telekomunikačním úřadem prodloužena o jeden rok. [115] Absence rozvojových podmínek se ukázala jako zásadní problém. Paradoxně nepárová část pásma 2600 MHz podléhá rozvojovým kritériím týkajících se pokrytí i přes předchozí neúspěch, oproti minulé aukci také došlo ke zvýšení minimální ceny za neprodaná pásma. Je možné, že situace skončí podobně jako v případě minulé aukce. Pro operátory však toto výběrové řízení představuje možnost posílení spektrálního portfolia za účelem doplnění kapacity. Pozitivní je závazek týkající se refarmingu v pásmu 1800 MHz. Díky tomuto kroku dojde ke scelení dříve a nově získaných přiděľů ve zmíněném pásmu. Uvedené podmínky nejsou finální a mohou být změněny na základě diskuze.

### 4.3 Vypínání sítí

Navzdory současnému zaměření průmyslu na mobilní širokopásmové služby využívá stále více než 60 % mobilních spojení 2G sítí. Lze přepokládat, že v dalších letech toto číslo bude klesat. Většina mobilních operátorů se drží mobilních sítí druhé generace z důvodu celonárodního pokrytí, dostupnosti služeb a produktů, partnerství s virtuálními operátory, roamingu a regulačním povinnostem apod. Další výzvou budoucích let, která se týká frekvenčních pásem, je zrušení či vypnutí mobilních sítí druhé generace. V případě vypnutí sítě 2G je možné uvolněné kmitočty využít pro nové mobilní technologie, například LTE. Vypnutí sítě 2G je možné v případě, že je na daném území pokrytí jinou technologií a využití 2G představuje pouze nízké procento celkového provozu v síti. Je také nutné pečlivě vybírat typ distribuovaných mobilních zařízení. Jakékoliv investice do 2G jsou již dnes zcela, zbytečné a proto operátoři investují do pokrytí technologiemi, které mají dlouhodobější potenciál. Síťové licence a mobilní frekvence podléhají regulatorním pravidlům, která mají vliv na životní cyklus 2G sítě, v některých regionech je běžným jevem technologická neutralita a refarming spektra. Refarming je velice široký pojem, který představuje proces týkající se změny podmínek používání pro dané frekvenční pásmo. Požadavek na změnu podmínek používání frekvenčního spektra musí být oznámen a schválen orgánem starajícím se o správu kmitočtů, aby jejich využití bylo efektivní. Obchodování se spektrem je jednou z dalších možností, které by mohly být použity při provádění refarmingu kmitočtových pásem. Obchodování se spektrem obecně umožňuje efektivnější využívání rádiového spektra, a tím pomáhá k dosažení úkolů správy spektra přirozeným způsobem samoregulace. Obchodování se spektrem poskytuje možnost vzdát se spektra nevyužívaného, a to ve prospěch nového účastníka na trhu. Obchodování tak vede k dynamickému a efektivnějšímu využití spektra. Nicméně je jasné, že obchodování se spektrem nemůže nahradit proces tradiční správy spektra. Obchodování a podobné tržně orientované prostředky samoregulace mohou být použity pouze jako pomůcka a vyžadují jasný soubor účinných opatření v rámci regulace. Obchodování se spektrem není stejně vhodné pro všechny druhy služeb a existuje řada různých variant obchodování se spektrem.

Rozhodnutí Evropské komise 2011/251/EU [119], že GSM může koexistovat s UMTS a LTE ve stávajících GSM sítích, 900 a 1800 MHz v podstatě znamená, že GSM může pokračovat bok po boku s těmito technologiemi, zejména z důvodu podpory hlasových služeb 2G sítí a vznikajících M2M služeb. Refarming spektra zajistí také větší kapacitu, rychlost a pokrytí například pro LTE. Refarming je nutnou součástí vypnutí sítě, správce spektra musí potvrdit, že je možné kmitočty využívat i pro jinou technologii, především u 2G, kde se využívají kmitočty 900 MHz, 1800 MHz a 2100 MHz. Toto rozhodnutí podporuje dlouhodobou evoluci mobilních sítí. 3GPP tento trend také podporuje výběrem vhodných frekvencí pro jednotlivé technologie. Technologie UMTS může být provozována v pásmu 900 MHz jako GSM, LTE je provozováno v pásmu 1800 MHz také stejně jako GSM, protože spousta operátorů může mít dostatečně široké frekvenční pásmo zde. V některých pásmech dochází ke kombinaci těchto technologií, což není vhodné. Nejlepším řešením je, aby kombinace technologií v každém pásmu byla nahrazena jednou technologií, LTE. Toto zjednodušení může snížit náklady na správu a provoz sítě. Je důležité stanovit jakou technologii v této kombinaci vypnout jako první a určit kdy a za jakých podmínek k tomu může dojít. Každá síť je odlišná, takže postup bude všude jiný. Jako příklad může být plánované vypnutí GSM poskytovatelem mobilních služeb AT&T a opačný příklad vypnutí UMTS poskytovatelem Altel (součást Kazachtelecom) [112]. Lze předpokládat, že první technologií, která by měla být vypnuta je GSM, protože je starší, ale je společnou technologií využívanou pro roaming a M2M komunikaci. Oproti tomu UMTS je novější a schopnější technologie. Je to tedy otázkou pro poskytovatele jakou technologii zrušit. Pro vypnutí sítě je nutné zajistit také roaming v rámci LTE a přenos hlasu v rámci LTE.

V případě České republiky je zrušení sítí založených na standardu GSM prozatím otázkou vzdálené budoucnosti, především díky faktu, že do těchto sítí byly vloženy velké investice a ne všichni zákazníci jsou na případné zrušení připraveni. Připravenost je především myšlena z pohledu typu zařízení a podpory novějších standardů, vzhledem k rostoucí penetraci chytrými zařízeními, a to především chytrými telefony, které zmíněné nové standardy podporují. Z pohledu zrušení sítí založených na technologiích třetí generace se také nejedná o nejlepší řešení. Nejméně do doby, kdy bude pokrytí novějšími technologiemi schopné konkurovat pokrytí staršími technologiemi. Tuto

schopnost konkurovat pokrytím, nebo lépe řečeno nahradit, by měly mít sítě založené na nových standardech do 7 let od přidělu kmitočtů z digitální dividendy, jak je to uvedeno v podmínkách aukce. [43]

#### 4.4 Zrušení roamingu a síťová neutralita

Rychlý rozvoj internetu, jako prostředku pro přenos a sdílení informací, multimediálního obsahu a komunikace, značně změnil přístup vlastníků infrastruktury. Pro spoustu lidí se stává mobilní přístup k internetu náhradou za fixní, s čímž je spojen předpoklad zákazníků, že budou poskytované služby podobné kvality, jako tomu bylo u jejich fixního připojení. Jde především o tvorbu nových obchodních modelů zaměřených na zvýšení zisků z internetového obsahu. Síťová neutralita může do budoucna být faktorem, který ovlivní oblast telekomunikací a služby poskytované operátory. Nyní mohou operátoři nabízet služby, které využívají připojení k internetu, ale umožňují diskriminaci určitých stránek, služeb nebo protokolů. Na základě pravidel spojených se sítovou neutralitou musí být zacházeno se všemi pakety stejně, tedy nezávisle na typu obsahu, cílového bodu nebo zdroje. Veškerý provoz a obsah je posuzován rovnocenně. Nabízí se výstižné srovnání s kabelovou televizí, kde si každý poskytovatel definuje základní balík dostupných služeb plus služby za příplatek, které představují dodatečné televizní kanály. Převáděno do oblasti sítí a telekomunikací to může vypadat tak, že poskytovatel bude prodávat základní balík služeb, tedy připojení k internetu, a další dodatkové služby, které umožní přistupovat k určitým stránkám a službám, za příplatek. Příkladem může být služba poskytovaná mobilním operátorem NTT DoCoMo v Japonsku, která poskytuje přístup k upravenému internetovému obsahu a často bývá přirovnávána ke službě **WAP** (*Wireless Application Protocol*). Obsahem poskytovaným v ceně základního balíčku je přístup k e-mailu, informačním kanálům, finančním službám apod., za další obsah si musí zákazník zaplatit. V poskytování obsahu existují určité základní modely. První model poskytuje zákazníkovi ohraničenou oblast kontrolovaného obsahu a služeb, které jsou pro něj dostupné. Druhý model je zcela otevřený a není nijak omezený či řízený. Touto problematikou se zabývá Evropská unie, která se snaží síťovou neutralitu zabezpečit. Cílem síťové neutrality je konec diskriminace v širokopásmovém připojení. Absence regulace spojené se sítovou neutralitou omezuje diskriminace možné inovace

v oblasti aplikací. Pravidla spojená se síťovou neutralitou tedy mohou přinést různorodější aplikace, množství inovací a jejich dostupnost. Rozvoj a rozšíření služeb může být zpomalené také nastavením vysoké prvotní ceny, která limituje poptávku. V případě, že by nebyla zavedena síťová neutralita, může dojít ke stavu, kdy bude internet rozdělen do dvou skupin, a to na plnohodnotně dostupný internet a na omezený internet. Pokud by například nebyla zavedena neutralita pro mobilní přístup, mohlo by dojít k výše uvedenému stavu. Aktuální forma balíčku Evropské unie obsahuje zmínku o tzv. speciálních službách, které představují určitou mezeru v systému a umožňují připravovat různé datové balíčky na základě typu obsahu, což převrací původní myšlenku.

Stejně jako zásahy spojené se síťovou neutralitou tak i otázky zrušení roamingu řeší především Evropská unie. Počáteční kroky vedly hlavně ke snížení cen za roamingové volání, ale stávající řešení vede ke zrušení roamingových poplatků k 15. prosinci 2015. Dojde tedy ke stavu, kdy budou zákazníci platit stejnou sazbu za hovory, textové zprávy a datové služby v celé Evropské unii. Diskutovaná úprava řeší otázku stanovení limitu pro datové služby, po jehož překročení by bylo možné účtovat vyšší sazbu. Může dojít ke stavu, že si zákazníci pořídí tarif od zahraničního operátora a budou neustále fungovat v roamingu. Otázky jako tato musí být ještě dořešeny, včetně možného limitu FUP pro datové služby během roamingu.

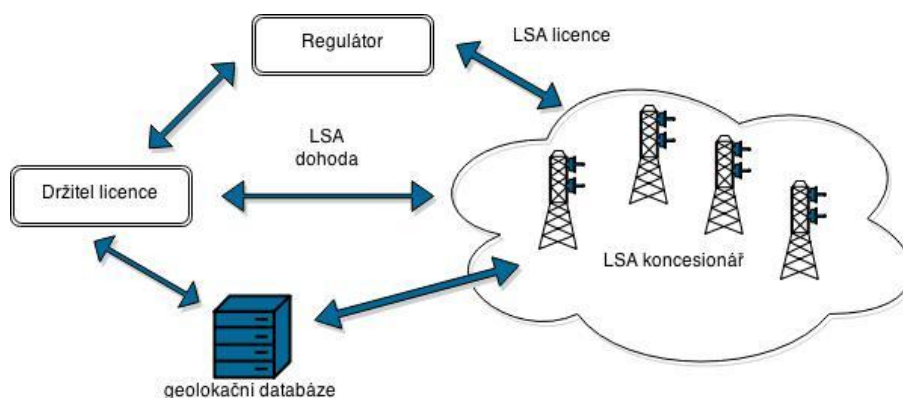
Oba body, jak síťová neutralita, tak zrušení roamingu se týkají přímo operátorů a mohou značně ovlivnit jejich výnosy do budoucna, což by se mohlo dotknout cen za poskytované služby, ale také investic do síťové architektury a služeb.

#### **4.5 Sdílení spektra**

Stále více se nahlíží i na další možnost sdílení v mobilních sítích, a to na sdílení spektra. Příčinou je zvyšující se poptávka po spektru způsobená rostoucí penetrací chytrými telefony a tablety. Splnění požadavků ohledně poptávky je obtížné částečně z důvodu, že použitelné spektrum pro mobilní širokopásmové technologie je již určeno pro jiné účely. Sdílení spektra může sloužit jako prostředek efektivního využívání radiového spektra a zároveň napomáhat zmírnění problémů spojených s nedostatkem spektra. Otevírají se tím také možnosti pro mobilní operátory, neboť spektrum je zásadní pro

úspěch v mobilních bezdrátových komunikacích. Mobilní operátoři spoléhají na licence, které jsou klíčové pro používání spektra. Statické přiřazení a exkluzivita licencí dominují mnoho let v politice přidělování rádiového spektra pro mobilní služby. Rozsah využitelných frekvencí pro mobilní komunikační sítě se časem výrazně zvyšuje. Tento nárůst je vyvolán vysokou poptávanou po spektru, která překračuje disponibilní licencované spektrum. Nedostatek spektra vytváří potřebu větší flexibility, což vede k výraznému zájmu operátorů o technologický pokrok v oblasti sdílení spektra. Nový vývoj ve sdílení spektra je velkým příslibem pro operátory. Společná spektra mohou být použita jako doplněk ke stávajícímu licencovanému, aby byla navýšena kapacita. Exkluzivní licence na využívání spektra nemusí být do budoucna vyhovující, je však nutné vypracovat technické řešení a regulatorně právní podmínky, které by umožnily sdílení plně využívat. Regulace spektra není jednoduchá, neboť existuje spousta aspektů, které je nutné posoudit. Mezi tyto aspekty patří typ cílového nasazení, možné rušení, jak bude využívání právně řešeno apod. Neexistuje jednotný přístup k přidělování povolení k využívání spektra. Regulační úřady potřebují velkou řadu nástrojů, které pomáhají zvolit správný přístup. Přístupy ke spektru jsou převážně řešeny pomocí vyhrazených licencí. Většinou je spektrum přidělováno ve vyhrazených blocích na základě vyhlášené aukce, která operátorům dá právo mít přístup ke spektru výměnou za investice do síťové infrastruktury. Takovýto přístup ke spektru umožňuje operátorům budovat a rozvíjet infrastrukturu k uspokojení poptávky po službách, za jejichž využívání uživateli si účtuje poplatky, které slouží k úhradě nákladů na budování a provoz. Vyhrazené a licencované spektrum je tedy klíčovým nástrojem pro provozovatele. Licenční politika poskytuje regulátorům možnost ocenit spektrum. Regulátor také často jako dodatek k licencím přidává podmínky, které se například týkají typu poskytované služby, požadavků na pokrytí. Tyto podmínky k licencím je vhodné do budoucna využívat pro generační rozvoj a zvýšení pokrytí, neboť se jedná o přínos pro celou populaci. Podmínky je možné přizpůsobovat měnícím se potřebám trhu. Spektrum je možné opakovaně využít po vypršení doby, na kterou jsou licence udělovány. Různé technologie jsou také provozovány v bezlicenčních pásmech. Zařízení využívaná v těchto pásmech obvykle splňují určité technické podmínky jako například velikost maximálního vysílacího výkonu. Sdílení v těchto pásmech funguje na ohleduplnosti ostatních uživatelů a dodržování určitých podmínek ohledně zařízení. U služeb poskytovaných

mobilními operátory se předpokládá určitá úroveň kvality poskytované služby, kterou není prozatím možné poskytnout v případě, že by se jednalo o pásmo bez licence a bylo by zde možné provozovat i jiná zařízení. V mobilních sítích se sice využívají různé úrovně poskytované služby, ale každá úroveň je přímo určena pro konkrétní službu. Bezlicenční pásmo by bylo možné využít jako určitý doplněk, je však otázkou do jaké míry by docházelo k rušení a ovlivňování dalších technologií provozovaných v těchto pásmech. Možností sdílení pásma, která se jeví jako reálná, je sdílení založené na rozdílné zeměpisné poloze tzv. *Authorized and licensed shared access*. Tato forma sdílení ale vyžaduje značnou míru regulace a testování. Důležitou částí tohoto typu frekvenčního sdílení je databáze, která využívá zeměpisnou polohu uživatele a je naplněna informacemi od operátora. Mezi tyto informace se řadí technické podmínky sdílení, regulační a další podmínky, které jsou aplikovány na základě polohy uživatele. Databáze je spravována buď regulátorem, operátorem nebo předem určenou třetí stranou. Na vývoji a standardizaci **LSA** (*Licensed Shared Access*) se podílí Evropská komise pro radiové spektrum, normalizační činnost lokalizační databáze zastává Evropský telekomunikační standardizační institut (ETSI). Tento typ sdílení může sloužit jako dodatečné zvýšení kapacity a spektra stejně jako ostatní typy sdílení. Vzhledem ke všem faktům, které se spíše jeví jako překážky, lze předpokládat, že zůstane i nadále dominantní licencování vyhrazené pro jeden subjekt. Budoucí potenciál této techniky je však očividný. Pokud budou splněny všechny podmínky pro standardizaci technického provedení, nebude problém při dobré regulaci takovýto způsob sdílení v sítích provozovat.



Obrázek 13 - Způsob sdílení spektra realizovaný na základě LSA [56]



Všechny faktory týkající se frekvenčního spektra mohou být ovlivněny především kroky regulátora, který zajistí pro příslušná pásma technologickou neutralitu a případně také refarming, který by zajistil v daném pásmu souvislý blok pro každého operátora. Český telekomunikační úřad již nastínil svou budoucí strategii v dokumentu Strategie správy rádiového spektra [57]. Z dokumentu mimo jiné plyne, že se Český telekomunikační úřad rozhodl podpořit rozvoj nových telekomunikačních systémů a služeb. Vidí také potenciál v budoucím využití pásem technologiemi založenými na standardu IMT, komunikaci založené na technologii M2M. O některých pásmech bude rozhodnuto až na konferenci WRC-15, která také může pozitivně podpořit další rozvoj.

## 4.6 Technické faktory

### 4.6.1 Pátá generace mobilních sítí

Pátá generace mobilních sítí, **5G**, představuje další generaci mobilních komunikačních sítí a služeb, které překračují možnosti 4. generace mobilních sítí. Předpokládá se, že tato generace bude provozu schopná po roce 2020 a měla by být optimalizovaná a cenově efektivní pro technologie dostupné okolo roku 2025. Proces definování nové generace bezdrátových mobilních sítí je již v plném proudu. V současnosti existuje obrovský zájem ohledně technologie a spektra pro mobilní síť 5G i přesto, že je jejich potřeba dříve než do roku 2020 nepravděpodobná. Klíčovým trendem je potenciální využívání nasazení těchto technologií v pásmu milimetrových vln radiového spektra. Jednou z hlavních motivací pro 5G je vylepšení výkonnosti služeb bezdrátových sítí po roce 2020.

Mobilní operátoři v současné době výrazně investují do sítí LTE a LTE - Advanced a tyto investice budou pravděpodobně pokračovat i po roce 2020. Nové funkce, jako agregace nosných, umožňují mobilním operátorům využívat dva a více spektrálních bloků za účelem podpory a zlepšení datové propustnosti. Především lepší způsoby využití spektra jsou klíčové. Nutnost zpeněžit investice do LTE se také projevuje na trhu mobilních komunikací a v obchodních modelech operátorů. Klade se větší důraz na sdílení a konsolidaci sítí, jsou také zaváděny nové modely cenění mobilních datových služeb.

Přes veškerý pokrok je nutné stále pracovat na vývoji mobilních sítí, aby se v budoucnosti dosáhlo vyšších rychlostí, pokrytí, spolehlivosti a výkonů sítě. Klíčovou motivací pro mobilní síť 5G je všudypřítomný, vysokorychlostní, vysoce kvalitní bezdrátové širokopásmové pokrytí, které bude splňovat požadavky uživatelů po roce 2020. Tato vize 5G je jádrem pro příští generace mobilních sítí. Pátá generace mobilních sítí se právě stává předmětem výzkumných programů, průmyslové spolupráce a standardizačních debat, které o ní nakonec rozhodnou. V této rané fázi se objevuje a rozchází řada obchodních modelů, aplikací, tržních sektorů a zařízení. Možnou technologickou cestou k 5G jsou zcela nové rádiové technologie, jakož i další vývoj a zavádění stávajících technologií, ze kterých bude pátá generace těžit.

Výzkum týkající se 5G je potřeba zaměřit na zlepšení využití spektra, tedy nalezení nejlepších metod s cílem zlepšení spektrální účinnosti. Zlepšení spektrální účinnosti je

omezeno, neboť prostřednictvím kódování a modulace je to stále obtížnější a méně efektivnější.

Nicméně nové technologické postupy mohou zlepšit využití spektra v rámci dané oblasti, buňky. Nové technologie, jako masivní MIMO a makroasistovaná malá buňka, mohou změnit přístupové technologie v rámci sítí 5. generace. Tyto technologie se zaměřují na lepší využití kmitočtového spektra, vyšší rychlosti a nižší latenci. Umožní poskytovat lepší a konzistentní služby bez ohledu na umístění uživatele. Mnohé z těchto technologií jsou předmětem výzkumu a vhodné pro nasazení ve velmi vysokých frekvenčních pásmech milimetrových vln. Aktuální výzkum mobilních sítí 5. generace zahrnuje testování v pásmech 15 GHz, 28 GHz, 60 GHz a 70 GHz. Tato pásma jsou podstatně vyšší než pásma běžně používaná pro mobilní komunikace. Toto spektrum může být lepší pro využití více antén, především miniaturních antén. Kromě toho je v těchto pásmech k dispozici větší šířka pásma než v pásmech pod 1 GHz, což je přínosem pro zajištění větší šířky kanálu a s tím spojené vyšší rychlosti. Nevýhodou těchto pásem je fakt, že nejsou vhodné pro pokrývání rozlehlých oblastí mobilním signálem. Maximální pokrytí bude představovat klíčovou vlastnost mobilních sítí 5. generace vzhledem k možným službám a aplikacím jako je třeba internet věcí pro možné aplikace ve zdravotnictví a automobilovém průmyslu. Z těchto důvodů se předpokládá, že by v mnoha zemích mohlo zlepšit pokrytí využití spektra pod 1 GHz. Potřebné spektrum pro 5G tedy bude zahrnovat celou řadu stávajících a nových frekvenčních pásem napříč radiovým spektrem. Různá pásma budou přiřazena pro různé služby a aplikace. Z tohoto pohledu je nutná mezinárodní harmonizace, která zajistí funkcionalitu nezávisle na poloze uživatele v rámci mezinárodního hlediska. Je možné, že tato fakta dále napomůžou rozvoji sdílení spektra. Obecně je nutné zajistit interoperabilitu sítí, přiměřenou návratnost investic do nové sítě během inovování, další nové spektrum a více inovativních technologií pro využití spektra.

Hlavním cílem ve vývoji mobilních sítí 5. generace je poskytnout přenosové rychlosti minimálně 10 Gbit/s. Vzhledem k využití frekvencí v pásmu ultra krátkých vln bude nutné využít frekvence v jiných pásmech, která nejsou tak využívána. V rámci programu Evropské unie, známého jako projekt METIS, byla zvolena kritéria, dle kterých budou vybrána vhodná kmitočtová pásma.

- Využití frekvenčních pásem: pásma jsou dle Radiokomunikačního řádu **ITU-R** (*ITU – Radiocommunication Sector*) primárně určena pro mobilní a pevné rádiové služby nebo sdílení pásem
- Šířka pásma: spojitý frekvenční blok o šířce několika stovek megahertz pro pásma pod 40,5 GHz a aspoň jednotky gigahertz pro pásma nad kmitočtem 40,5 GHz. Tyto požadavky jsou považovány za minimální vzhledem k potřebám uživatelů. V první fázi se nepočítá s využitím agregace nosných, což v důsledku znamená, že bloky musí být kontinuální. V případě, že tato fáze volby kmitočtů nebude úspěšná, budou v další fázi voleny bloky, které vzniknou kombinací nesouvislých částí spektra. Bloky, které vzhledem ke své šířce umožní spuštění pouze jedné sítě, budou i přesto v první fázi zvažovány. Není potřebou zaplnit jeden blok několika operátory.
- Projednávaná pásma mohou být jak párová, tak i nepárová. [116]

V rámci projektu **METIS** (*Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society*) proběhlo také přezkoumání požadavků souvisejících s koncovým uživatelem, tyto požadavky byly zhodnoceny a porovnány s různými dostupnými technologiemi. Mezi zvažované požadavky se řadí využití sítě, propustnost dostupná koncovým uživatelem, latence, spolehlivost, dostupnost apod. Kromě uvedených požadavků byly zvažovány otázky týkající se energetických a ekonomických aspektů. Technické cíle, které byly na základě tohoto průzkumu vytyčeny, jsou následující:

- 1000krát větší objem mobilních dat v rámci jedné oblasti
- 10krát až 100krát vyšší počet připojených zařízení
- 20krát delší životnost baterie pro zařízení využívající M2M komunikaci
- 5krát nižší latence pro koncová zařízení [116]

Možnými využitelnými frekvencemi pro mobilní sítě nové generace jsou bloky 700 MHz, 3,4 až 3,8 MHz, 5 GHz, 15 GHz, 28 GHz a případně 60 až 80 GHz.

Využitelné frekvence a volné bloky v pásmu 700 MHz a možné využitelné bloky se liší podle oblasti, státu. Jedná se o pásmo, které je díky svým fyzikálním vlastnostem, vhodné pro poskytování pokrytí signálem pro velké oblasti a umožňuje poskytnout bloky

2x30 MHz až 2x45 MHz. Toto pásmo je vhodné především pro aplikace ze skupiny internetu věcí.

Pásmo 3,4 až 3,8 GHz poskytne až 400 MHz, a to rozdělené jako párové či nepárové bloky. Velikost jednotlivých bloků se bude odvíjet od aktuálního využití, ale i přesto toto pásmo může poskytnout větší šířku pásma než pásma pod kolem 1 GHz. Je pravděpodobné, že pásmo bude rozděleno po násobkách 20 MHz, záleží na dostupnosti volného spektra.

Ve věci pásma 5 GHz se bude jednat na konferenci ITU World Radio Conference (WRC-15) v roce 2015, ke stávajícímu spektru by mělo být přiděleno více jak 300 MHz. Na základě jednání na konferenci může vzniknout souvislý blok 5150 až 5925 MHz díky kombinaci stávajícího a nového spektra. Pravděpodobně bude zachována velikost bloků, která je v tomto pásmu definována Wi-Fi, jde tedy o násobky 20 MHz. Bude zde nutné testovat vzájemné vlivy a interference mezi Wi-Fi a případnou 5. generací mobilních sítí.

Velmi vysoké dosažitelné rychlosti umožňuje přenos v pásmu 15 GHz, důkazem může být dosažení přenosové rychlosti 5 Gbit/s společností Ericsson během jejich testování možných frekvencí pro mobilní sítě 5. generace [62]. Toto pásmo může nabídnout až 500 MHz s možnou velikostí bloků až v násobcích 100 MHz. Obdobně na tom jsou pásma 28 GHz a 60 až 80 GHz. I tato pásma jsou schopná poskytnout vysoké přenosové rychlosti a nabídnout velkou šířku pásma.

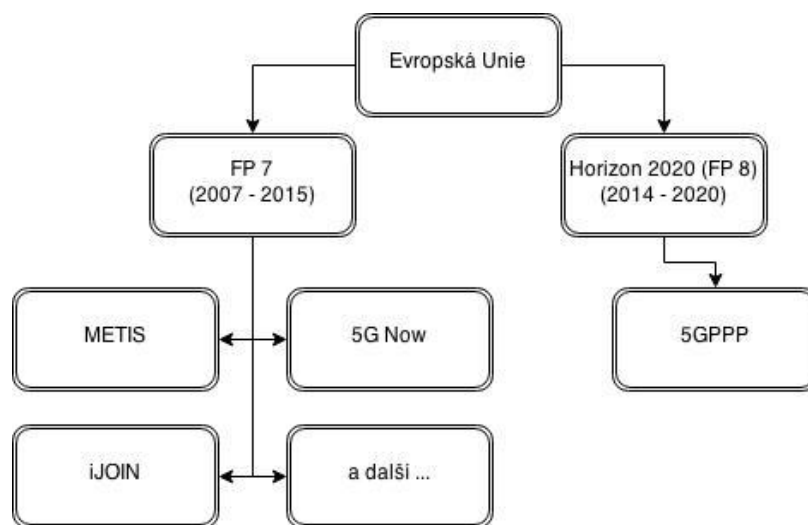
Vysoká očekávání ohledně 5. generace mobilních sítí, jako jsou například latence 1 ms, několikanásobně větší kapacita, větší mobilita a přenosové rychlosti než u 4. generace mobilních sítí, mohou snadno zastínit skutečné požadavky trhu a příležitosti v odvětví mobilních sítí. Ve věci využívání vyššího kmitočtového spektra bude zapotřebí rozhodnutí regulátora. Některá pásma mohou být lehce licencovaná nebo spravována pomocí sdíleného přístupu.

Hlavní výzvou pro mobilní sítě 5. generace je pokračující vývoj mobilního širokopásmového připojení a rostoucí počet nových služeb, které vyžadují nízkou spotřebu energie, nízké latence a v případě služeb spojených s automobily také velkou mobilitu. Objem mobilního širokopásmového připojení bude také narůstat s rostoucím počtem případů užití. Nejde pouze o komunikaci mezi uživateli, ale také komunikaci se

vzdálenými službami, senzory a stroji. Předpokládá se masivní nárůst komunikace mezi stroji, která přinese několikanásobně vyšší zatížení sítě než dnes. Příkladem dalších aplikací je asistované řízení a automatizované služby v automobilech, automatizace veřejné dopravy apod. Tyto aplikace vyžadují extrémně krátké doby navázání komunikace, nízké zpoždění a široké pokrytí. Nakonec můžeme očekávat další nárůst cloudově založených aplikací, které mají speciální požadavky z hlediska latence a šířky pásma. Ve skutečnosti jsou složitější aplikace často řešeny pomocí cloudového výpočtu za účelem redukce času na zpracování a snížení energetického zatížení mobilního zařízení. Streamovaná videa také navyšují požadavky na přenosové rychlosti a kapacitu. Podíl těchto služeb na provozu v mobilní síti stále narůstá a bude tomu tak i nadále.

### Standardizace v Evropě

Výzkumné a vývojové aktivity související s 5G v Evropě se především skládají s projektů, které jsou financované Evropskou unií. Rozdělení projektů je následovné:



Obrázek 14 - Rozdělení projektů v rámci EU

Velká část financí byla investována do *7th Framework Program (FP7)*. Tento program zahrnuje projekty, které se zabývají novými technologiemi pro mobilní sítě 5. generace. Projekt **5GNOW** (*The 5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for asynchronous signaling*) se podílí na vývoji LTE, LTE – Advanced, ale také na nových přístupech pro 5G směrem k podpoře nových aplikací. Projekty, spadající pod *8th Framework Program (FP8)*, známější jako Horizon 2020, jsou také financovány z peněz Evropské unie. **5G PPP** (*The 5G infrastructure Public Private Partnership*) spadá pod Horizon 2020 a jedná se o společný projekt Evropské unie a soukromého sektoru. Úkolem tohoto projektu je vývoj nové infrastruktury a služeb, které umožní poskytovat rychlé připojení za všech okolností a nový systém musí splňovat rostoucí výzvy a požadavky. Projekt pracuje na dosažení orientačních parametrů jako poskytování 1000krát vyšší kapacity, energetické úspore, nulovém zpoždění, nasazení velmi hustých buněk apod. Projekt **IJOIN** (*Interworking and JOINT Design of an Open Access and Backhaul Network Architecture for Small Cells based on Cloud Networks*) pracuje na nových konceptech přístupové sítě, která je založena na cloudové infrastruktuře a na pojetí přístupové sítě jako služby, rovněž pracuje na optimalizaci malých buněk, zlepšení propustnosti a efektivnosti. Myšlenka přístupové sítě jako služby je založena na flexibilním rozdělení funkcí a decentralizaci. Úkolem **MAMMOET** (*MAssive MiMO for Efficient Transmission*) je podpora rozvoje technologie masivní MIMO, která je velice slibná pro mobilní sítě. Projekt METIS sdružuje vědecké a průmyslové členy za účelem tvorby komplexního rámcového konceptu 5G, vývoje technologií splňujících požadavky systému a sjednocení přístupů k 5G. Jedná se o jeden z největších evropských výzkumných projektů v oblasti bezdrátových komunikací a čítá 29 členu, mezi přední členy patří společnosti Nokia Siemens Networks, Alcatel-Lucent, Huawei, BMW, NTT DoCoMo, Telefonica, Telecom Italia, Deutsche Telecom a další. Ostatní projekty se především soustředí na optimalizaci stávajících technologií, služeb, případně také řešení narůstajícího objemu provozu v síti pomocí přesunu části provozu na Wi-Fi a jejich možný přínos pro mobilní sítě nové generace.

Kromě výzkumu financovaného Evropskou unií jsou zde i projekty, které jsou iniciativou firem ze sektoru mobilních komunikačních služeb. Tyto projekty pracují především se zaměřením na vývoji budoucích služeb a aplikací. Řada zemí v Evropě také financuje svůj

nezávislý technický výzkum. V celosvětovém měřítku se na projektu podílejí především standardizační organizace, které se podílely na vývoji předešlých mobilních technologií.

### Architektura sítě

Využití mobilních komunikačních sítí v posledním desetiletí výrazně vzrostlo stejně jako složitost aplikací a požadavky na kapacitu. Tento trend je provázen výrazným technologickým pokrokem, který umožňuje tyto podmínky splňovat a také posouvat dále. Při pohledu do minulosti na vývoj 3. a 4. generace, jmenovitě standardy UMTS, HSPA, LTE a LTE – Advanced, je zřejmé, že vývoj nové generace mobilních sítí bude zaměřen na tvorbu nových přístupů a technologií v celé síti. Tyto inovace mají za účel splnit nové požadavky, které jsou uživatelsky orientované.

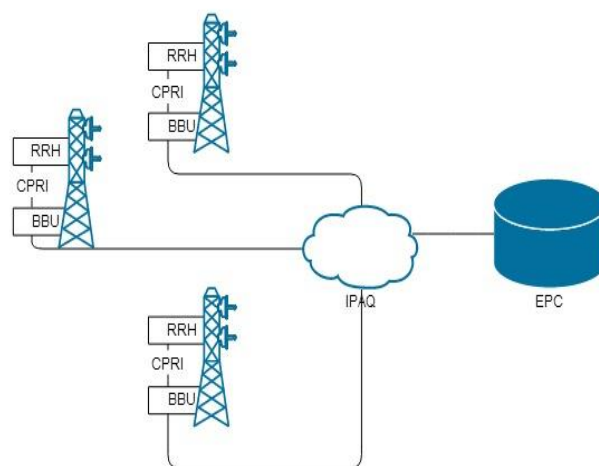
### Přístupová síť

Z důvodu zvyšujícího se datového provozu, potřeby po větší kapacitě a nabídce neomezených tarifů pro zákazníky musí operátoři stále více hledat způsoby, jak ve svůj prospěch snížit investiční náklady a náklady vynaložené na jeden bit. Hlavním cílem je tedy snižování nákladů. Výsledkem této snahy může být nová architektura přístupové části sítě. Tyto snahy jsou promítnuty v konceptu cloudové přístupové sítě, tzv. C-RAN. Důvodem proč se ubírat směrem k tomuto řešení je využívání sdílených prostředků, snížení nákladů na budování a v neposlední řadě skutečnost, že vše je založeno na cloudových principech. Mobilní sítě založené na této technologii mohou dosahovat značných úspor energie jak na straně uživatele, tak i na straně poskytovatele. Techniky založené na cloudových službách mohou být využity pro centralizaci řízení sítě tvořené hustým rozložením buněk, čímž se zlepší mobilita a také se minimalizují interference. Taková síť může podporovat i jiné služby a aplikace. Problémy plynoucí z rušení a náročnosti na údržbu velkého množství malých buněk vedly k vývoji konceptu C-RAN. Tento typ architektury přístupové sítě je tvořen anténními prvky *Remote Radio Heads (RRHs)*, které jsou připojeny k základnové stanici, *Baseband Unit (BBU)*, pomocí rozhraní *CPRI (Common Public Radio Interface)* nebo pomocí rozhraní *OBSAI Interface (Open Base Station Architecture Initiative Interface)*. CPRI je rozhraní, které zapouzdřuje vzorky mezi rádiem a BBU s minimálním zpožděním. Přenosové možnosti lze realizovat různými



způsoby. Mezi tyto způsoby se řadí optické sítě, které mohou být atraktivní, ale je vhodné mít již vybudovanou rozsáhlou optickou síť, jinak se jedná o poměrně velkou investici. Pomocí optických sítí je možné realizovat přenosy na velké vzdálenosti. Další způsob je využití mikrovlnných spojů, které vycházejí nejlépe vzhledem k investicím, nebo využití ethernetové kabelové infrastruktury.

Prvek RRH zahrnuje radiovou část, zesilovač, filtr a antény. Jednotky BBU jsou oddělené a provádí centralizované zpracování signálu přístupové sítě. Decentralizované BBU zlepšuje přenosové podmínky pro několik RRHs. Několik BBU se může sdružovat do centralizované Baseband Unit (C-BBU).



Obrázek 15 - Přístupová část sítě - C-RAN [81]

Architektura C-RAN je relevantní také pro LTE – Advanced, kde mohou být techniky na snížení interferencí prospěšné. Dalším logickým krokem ve vývoji této technologie bude virtualizace přístupové sítě, která umožní vznik programovatelné, softwarově definovatelné architektury. Obecně tento vývoj vede ke snižování nákladů na provoz a budování sítě.

Mobilní sítě 5. generace by se také oproti LTE mohly posunout dále a mohly by zajistit vzájemné propojení mezi technologiemi 3GPP a non-3GPP, především propojení se sítěmi založenými na technologii Wi-Fi. Rychlý rozvoj LTE a Wi-Fi by tak mohl vést ke společnému úsilí 3GPP a IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) o zajištění bezproblémové mezi systémové spolupráce pro budoucí technologie.

## Jádro sítě

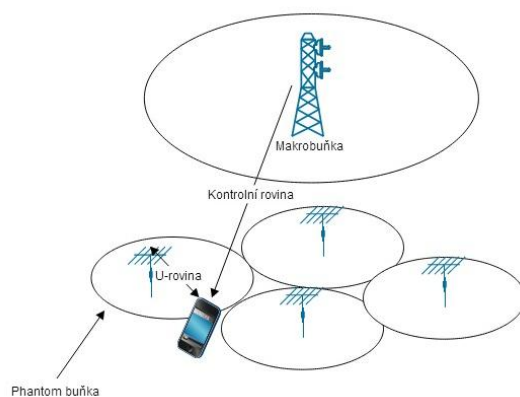
Přechod na mobilní sítě nové generace nepřináší změny pouze v rámci přístupové části sítě, ale změny se také dotknou jádra sítě. Zde je zapotřebí využít nové přístupy především z důvodu rostoucího počtu zařízení připojených k sítí. Už v sítích postavených na standardu LTE bylo identifikováno jádro **EPC** (*Evolved Packet Core*) jako nedostatek, neboť není do budoucna schopné zvládnout kontinuální zvyšování počtu mobilních zařízení a masivní nárůst M2M komunikace. Jádro sítě se musí vypořádat s obrovským množstvím provozu a řídit velké množství a vezme-li se v úvahu rostoucí využívání multimediálního obsahu, roste tím zatížení sítě a může docházet ke zvyšování zpoždění apod. Dnešní sítě jsou plné velkého a rostoucího počtu proprietárního hardwaru. Spuštění nové síťové služby navíc často vyžaduje ještě další hardware. Životní cyklus používaného hardwaru se také zkracuje, jak se objevují nové technologie a služby. Změna přístupu spočívá v oddělení hardwaru od softwaru a přesunu síťových funkcí. Předpokládá využití technologie **SDN** (*Software Defined Networking*) a **NFV** (*Network Functions Virtualization*). SDN je nově vznikající síťová architektura s centrální kontrolou sítě v rámci kontrolní roviny. Kontrolní prvek je zodpovědný za rozdělování provozu mezi jednotlivé síťové prvky a spravuje celou síť. Kontrolní prvek například může směřovat tok podle určitých pravidel k danému zařízení, lze tedy dynamicky upravovat cesty pro všechny toky komunikace v síti podle měnící se potřeby. Komunikace probíhá pomocí speciálního protokolu OpenFlow. Architektura SDN umožňuje správcům konfigurovat, spravovat, zabezpečovat a optimalizovat síťové prostředky velice rychle pomocí automatizovaných programů. Například zavedení nových síťových služeb, které vyžadují změny v infrastruktuře, které jsou běžně velmi složité, náchylné k chybám a časově náročné, je mnohem jednodušší. Jednou z dalších předností této architektury je fakt, že je založena na otevřených standardech a neliší se podle výrobců. V kombinaci s virtualizací a cloudovými službami poskytuje významné zlepšení a je obecně výhodnější. Komplementární technologií k již zmíněné SDN je NFV. Dokáže poskytnout infrastrukturu, na které je SDN provozována, ale není na ní závislá, ani naopak. NFV může být realizováno bez SDN, ale řešení, které kombinuje obojí, může být hodnotnější, neboť přístupy oddělující řídicí a datovou rovinu představené SDN mohou zvýšit výkon, zjednodušit kompatibilitu a usnadnit práci a údržbu. Technologie NFV je nový způsob jak

vybudovat síťovou architekturu s použitím standardní virtualizace. Virtualizační techniky umožní konsolidaci mnoha síťových zařízení. Síťový prvek a jeho funkce jsou implementovány pomocí softwarového balíku, který běží na virtuálním stroji. Softwarové řešení je mnohem rychlejší na instalaci a v případě využití těchto technologií se dá očekávat rychlejší zavádění nových síťových funkcí a také snížení nákladů na za energie a prostory. Snadná správa infrastruktury a služeb jsou dalším přínosem. Kombinace SDN, NFV a cloudových technologií tvoří koncept síťového systému, který umožňuje jednotnou správu.

#### 4.6.2 Technické prvky 5G

##### **Makroasistovaná malá buňka**

V současné době existuje řada řešení pro zajištění pokrytí a kapacity pro vnitřní prostory budov, například Wi-Fi či femtobuňky. Problematickou oblastí je zajištění stejných nebo aspoň podobných podmínek pro venkovní oblasti s velkým zatížením sítě. Zhušťování sítě a řešení pomocí malých buněk může částečně posloužit jako prostředek, kterým se lze do budoucna vypořádat s růstem provozu v síti. Heterogenní sítě, kde makrobuňky překrývají skupiny menších buněk, prokázaly velký potenciál pro zvýšení kapacity. Koncept phantom cell, jinak známý také jako makroasistovaná malá buňka, je jeden z klíčových předpokladů pro vyřešení problémů s mobilitou a kapacitou sítě. Řešení spočívá v rozdělení komunikace v řídicí a uživatelské rovině v malých buňkách. Koncept také navrhuje využívání různých frekvencí pro různé úrovně buněk, tak aby se minimalizovaly problémy s rušením v případě zmíněných hustých sítí. Kontrolní rovina je v malých buňkách zajišťována makrobuňkou a uživatelská rovina je poskytována malou buňkou, pro zařízení v rámci makrobuňky je jak kontrolní, tak i uživatelská rovina poskytována obslužnou makrobuňkou jako v běžných systémech. Malé buňky využívající popsanou asistenci větších makrobuněk se nazývají phantom cell a slouží pro specifickou komunikaci s uživatelským zařízením, zbylá komunikace pro spojení mezi uživatelským zařízením a phantom cell je řízena makrobuňkou. Nejde tedy o běžný typ buněk, jejich viditelnost je ovlivňována makrobuňkou. Koncept poskytuje také výhody jako vyšší energetické úspory, nižší interference a vyšší spektrální účinnost.



Obrázek 16 - Komunikace pomocí makroasistovaných malých buněk [118]

### Masivní MIMO

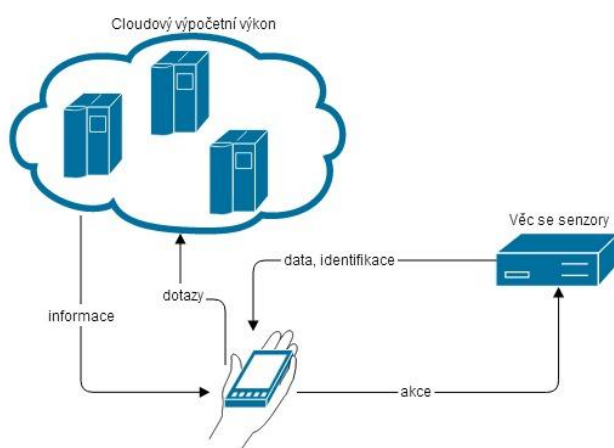
Více anténní systémy se stávají běžnou součástí technologií v bezdrátových komunikacích a jsou začleněny do bezdrátových širokopásmových standardů Wi-Fi, LTE a dalších fází. Tradiční MIMO systémy mají nižší počty antén, což platí především pro starší systémy, které využívají technologii MIMO. Koncept masivní MIMO (Massive MIMO), často označované jako velké MIMO (Large MIMO) byl původně navržen pro provoz využívající TDD, ale může být použit i pro FDD. Poskytuje nesporné výhody, neboť umožňuje využívat desítky až stovky antén. Použití více antén v systému otevírá více možností v prostorové doméně a umožňuje zlepšení dosahovaných vlastností. Zvýšením počtu antén se zvyšuje počet použitelných cest a zvyšují se přenosové rychlosti, zvyšuje se také stabilita spoje a poměr odstupu signálu od šumu. V případě velkých antén může vznikat problém s jejich umístěním a realizací. Pro realizaci těchto systémů je vhodné využívat vyšší frekvence, které umožní zmenšení jednotlivých prvků, což vede ke zvětšení jejich počtu.

## 4.7 Aplikace

Kromě hlasových a datových služeb bude pro operátory do budoucna nutné využívat a poskytovat další služby a aplikace. Může jít o aplikace spojené s komunikací věcí a strojů v síti.

### 4.7.1 Internet věcí

Pojem *Internet of Things (IoT)*, neboli internet věcí, představuje koncept sítě tvořené fyzickými objekty, které mají integrovanou schopnost komunikovat a vnímat nebo určitým způsobem interagovat s jejich vnitřními stavy nebo vnějším prostředím. Jedná se nový trend v oblasti kontroly a komunikace. Komunikace může probíhat mezi předměty samými nebo mezi předmětem a člověkem. K přenosu dat se využívají především bezdrátové technologie. Objekty, které mezi sebou komunikují, mohou být např. teploměr, různé jednoúčelové krabičky, chytré náramky, hodinky, čidla či senzory, které získávají smysl zapojením do sítě. Komunikace probíhá jednou za čas nebo neustále podle typu využití. Tímto se koncept internetu věcí liší od komunikace M2M, která bude popsána dále. Vhodným příkladem je komunikace zařízením vybaveným určitým senzorem, který je připojen k síti, s chytrým telefonem obsahujícím aplikaci zpracovávající přijatá data.



Obrázek 17 - Komunikace v rámci IoT [86]

Z technického pohledu není internet věcí výsledkem pouze jedné nové technologie, ale jde o spojení několika technologií, které splňují dané požadavky:

- Komunikace a spolupráce: Objekty mají schopnost komunikovat mezi sebou nebo se sítí, za účelem aktualizace svého stavu, využití dat a služeb. Komunikace je realizována pomocí bezdrátové technologie jako GSM a UMTS, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee apod.
- Adresovatelnost: V rámci internetu věcí mají být objekty lokalizovány a adresovány a tím na dálku kontrolovány a konfigurovány.
- Identifikace: Objekty jsou jednoznačně identifikovatelné pomocí **RFID** (*Radio-frequency identification*), **NFC** (*Near field communication*) či opticky čitelných čárových kódů. Identifikace umožňuje spojení informací s konkrétním objektem.
- Snímání: Objekt shromažďuje informace o jeho okolí pomocí senzorů, zaznamenává je, předá je dále nebo na ně přímo reaguje.
- Vestavěné zpracování informací: Inteligentní objekty mohou obsahovat procesor a vnitřní úložiště. Tyto prostředky umožňují, aby mohl zpracovat a interpretovat informace ze senzoru.
- Lokalizace: Inteligentní objekty si jsou vědomi své fyzické polohy, která je určena pomocí GPS nebo mobilní sítě.

Většina aplikací má své specifické požadavky a vyžaduje tedy jenom minimum určitých vlastností.

Jedním z důležitých faktorů, který přispívá k rozvoji internetu věcí, je pouhý evoluční vývoj informačních a komunikačních technologií, který umožňuje neustálé zlepšování a posouvání hranic výrobků. Jedním z příkladů může být centrální počítač automobilu, který přijímá informace o okolních událostech, jako jsou např. dopravní omezení na trase či informace o okolních automobilech, dále také přijímá informace o stavu automobilu. Dalším příkladem mohou být chytré náramky, které kontrolují stav svého majitele pomocí vestavěných senzorů. Tyto informace se přenášejí pomocí bezdrátových technologií do chytrého telefonu obsahujícího aplikace, které jsou schopné tato data vyhodnotit a na základě stanovených kritérií posoudit. Další skupinou mohou být přístroje pro domácnost, které jsou zaměřeny na podporu lidí v jejich každodenním životě, informující o stavu domácnosti. Oblastí, ve které dochází

k nejrychlejšímu růstu internetu věcí, je sektor zdravotnictví. V tomto odvětví může jít především o sledování stavu pacientů pomocí výše zmíněných chytrých náramků, které však předávají data k analýze lékaři. Obecně je tento trend spojen s velkým rozvojem telekomunikačních sítí a technologií se současně rostoucí penetrací chytrými zařízeními. Poskytovatelé zdravotní péče se snaží zvyšovat svůj dosah na pacienta a zároveň minimalizovat náklady. Řešením této situace může být mobilní zdravotnictví. Mobilní zdravotnictví je spíše spojeno s pojmem mHealth, tedy mobilní zdravotnictví nebo zdraví. Jak již název napovídá, mHealth odkazuje na použití mobilních technologií pro zlepšení přístupu a distribuce informací o zdravotní péči a diagnostických službách. Poskytovatelé mobilních služeb chápou toto odvětví jako lukrativní možnost pro zpeněžení svých služeb mobilního připojení. Tyto služby představují služby nad rámec služeb běžně poskytovaných. Operátoři tedy mohou začít poskytovat koncové mHealth řešení. Možnou překážkou může být regulace a obavy pacientů ohledně zachování jejich soukromí a také kvalita poskytované služby. Obavy týkající se bezpečnosti mohou být značnou překážkou, je tedy nutné vytvořit a udržovat bezpečnou infrastrukturu pro zabezpečení dat a soukromí. Je jenom otázkou času, kdy cena těchto služeb a zařízení bude pro všechny dostupná. Je možné, že časem tyto zdravotnické pomůcky budoucnosti budou dotovány zdravotní pojišťovnou. Sítě třetí a čtvrté generace již nyní umožňují, aby byly služby jako vysokorychlostní internet a rychlý přenos videa dostupné, což napomůže k rozvoji služeb jako telemedicína umožňující například vzdálený monitoring pacientů. K rozvoji těchto služeb také přispívá změna životního stylu, přístupu k mobilním zařízením a stárnutí populace. Se stárnutím populace je také spojená další možná aplikace internetu věcí, která by mohla být mylně chápána jako zdravotní aplikace. Jedná se o aplikaci v asistenčních službách. Asistenční služby jsou cíleny na konkrétní skupinu populace tedy na seniory, neboť populace Evropy stárne a průměrná délka života se prodlužuje. Telekomunikační služby a aplikace mohou napomáhat ke zlepšení kvality života starších osob. Poptávka této skupiny po zdravotnických a sociálních službách bude neustále narůstat s rostoucím počtem stárnoucích lidí. Tato situace není obecně pro zdravotnictví finančně udržitelná a je nutné hledat jiná řešení. Především nové technologie mohou umožnit dostupnost zdravotní a sociální péče. Tyto technologie jsou však stále v prvopočátcích, a to hlavně z důvodu nedostatečného řízení, fragmentace, vysokých nákladů na vývoj, chybějící

standardizaci a nízké informovanosti. Dalšími překážkami jsou technické překážky. Uživatelská přívětivost a dostupnost zařízení a služeb jsou základními podmínkami pro poskytování těchto služeb. Jde hlavně o službu monitoringu.

Další aplikací mohou být mobilní finanční služby nebo mobilní reklama, cílená přesně na uživatele a oblast, kde se právě nachází, a tímto výčet nekončí. Aplikace spojené s internetem věcí mají různé podoby a neomezené možnosti. Tyto aplikace jsou zaměřené především na uživatele, jsou vysoce personalizované s kontextovým a lokačním povědomím. To vše díky analyzování podrobných informací o uživatelských návycích, historii a preferencích. V kombinaci s inteligentní bezdrátovou sítí a chytrými uživatelskými zařízeními se tyto aplikace stávají realitou.

Uživatelsky mířenou reklamu, která využívá informací o uživateli a jejich poloze, je možné jinak pojmenovat jako digitální marketing. Poloha je hlavně využívána za účelem poskytování specializovaného obsahu. Především do budoucna má tento typ aplikace velký potenciál díky využití tzv. big data, což umožňuje přímo profilovat reklamu na konkrétního uživatele a tímto přístupem mnohánásobně zvýší její účinnost v běžné praxi. Je nutné ještě dořešit otázku ochrany soukromí a sdílení informací od uživatelů s jinými poskytovateli.

Internet věcí je stále omezován několika faktory, které brání ho plně využívat. Jedná se o předmět mnoha norem a debat, neboť je prvně nutné plně pochopit, co internet věcí představuje a dále identifikovat rozsah, klíčové prvky a technologie. Tyto překážky brání jeho standardizaci. Zůstává otázkou, zdali je internet věcí technologie nebo pouze aplikace, která využívá bezdrátové senzorové sítě, bezdrátové komunikační technologie jako například RFID, M2M komunikaci a další. Evropská výzkumná skupina pro internet věcí definovala internet věcí jako dynamickou globální síťovou infrastrukturu se schopností konfigurovat sama sebe založenou na standardních a interoperabilních komunikačních protokolech, kde mají fyzické a virtuální věci identity, fyzické vlastnosti, virtuální osobnosti, používají inteligentní rozhraní a jsou dokonale integrovány do informační sítě. Mezinárodní telekomunikační úřad vydal obdobnou definici, která internet věcí definuje jako globální infrastrukturu pro informační společnost, která umožňuje pokročilé služby propojením fyzických a virtuálních věcí založených na



existujících a vyvíjejících se interoperabilních informačních a komunikačních technologiích.

Nasazení těchto technologií je prospěšné pro všechny strany, jak pro výrobce, tak i pro poskytovatele služeb a infrastruktury. Obecně u všech těchto služeb je nutná standardizace, která by zajistila jednotnost jak zařízení, tak i služeb. Úspěch internetu věcí závisí na vývoji norem, které jsou nutné pro konkrétní aplikace a pro sjednocení, které umožní spolupráci mezi různými aplikacemi pokrývajícími širokou škálu oborů. Internet věcí je ideální, nově vznikající technologie, která do budoucna bude ovlivňovat vývoj dalších generací mobilních systémů. Jsou to především nové aplikace, které nastaví požadavky pro mobilní sítě.

#### 4.7.2 Strojová komunikace

V případě **M2M**, *Machine-to-Machine* spolu komunikují stroje, které spolu komunikovat mají. Komunikace je naprogramovaná a jednorázová, například odeslání jednorázové sestavy dat, zatímco Věci si po svém Internetu povídají neuspořádaně, skoro nahodile a neustále. Kromě toho, stroje v konceptu M2M jsou opravdu stroje, velká zařízení. Technologie M2M umožňuje drátovou i bezdrátovou komunikaci s jiným zařízením stejného typu.

M2M mohou být průmyslová vybavení zahrnující zařízení (např. senzor) pro zachycení události (např. teplota, úroveň zásob apod.), které jsou prostřednictvím sítě předávány aplikaci (program, softwarové vybavení), která převádí zachycené události ve smysluplnou informaci. Tento přenos byl dříve realizován sítí strojů, které předávaly informace zpět do centrálního bodu k analýze. Původně byla komunikace realizována na proprietární bázi nebo ethernetové bázi, což limitovalo různorodost aplikací.

Moderní M2M komunikace přerostla přes komunikaci jeden s jedním a stala se systémem sítí, které automatizují sběr a přenos dat z inteligentních strojů, senzorů nebo běžných spotřebičů. Přenášené údaje zahrnují informace týkající se umístění, identifikačních údajů a diagnostiky. Sbíraná data jsou odeslána k centrálnímu serveru, kde jsou uložena a analyzována. Rozšíření IP sítí po celém světě přispělo k zjednodušení komunikace M2M a také ke snížení času na sdělování informací. Tyto sítě také otevírají velkou řadu nových obchodních příležitostí a spojení mezi spotřebiteli a výrobcí.

Původně byla tato technologie využívána pro automatizaci. Vzájemné propojení všech typů sítí může vést ke zlepšení výroby a zvýšení efektivity v různých oblastech, například v průmyslovém zařízení, které může informovat o svém stavu. Další možností využití může být monitorování systémů, například měřidel.

Kategorie zaměřená na implementaci M2M systému do budov (Smart building), potažmo měst (Smart city), není prozatím přímo definovaná. Toto řešení může v případě měst zvýšit efektivitu řízení města, zvýšit úroveň kvality života a obecně zjednodušit řízení a provoz města. Jedná se tedy především o správu. Využití těchto technologií pro domácnosti umožní zejména dálkový monitoring v reálném čase a správu nemovitostí. Tyto funkce byly ještě před pár lety nedostupné, což se postupem času mění a rozšiřují se možnosti dalších využitelných aplikací v této oblasti. Platforma inteligentních budov bude schopná plánovat a preventivně upravovat provoz budov, domácností a zařízení. Technologie inteligentního řízení budovy napomůže také ke snížení spotřeby energie. Nejde pouze o správu zdrojů, ale z pohledu měst může jít o aplikace, které umožní informovat řidiče o dopravních zácpách a alternativních trasách pomocí značení, řízení a flexibilní dimenzování veřejné dopravy, monitorování, poskytování informací o možných hrozbách spojených s veřejnou bezpečností, chytrou správu parkovacích míst, detekci vozidel apod.

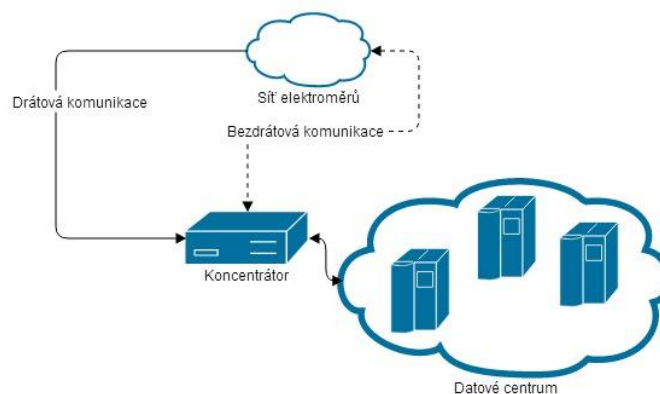
Využití M2M je rovněž možné v oblasti telematiky. Příkladem může být evropská iniciativa eCall, která má zajistit rychlou pomoc motoristům, kteří se stanou účastníkem dopravní nehody kdekoli v rámci Evropské unie. Cílem iniciativy je instalovat do automobilu zařízení, které v případě nehody automaticky vytočí předem definované číslo záchranné služby, předá ze senzorů získané informace o rozsahu nehody a zašle také informace o poloze. Předáním těchto informací by mělo dojít ke zrychlení příjezdu zdravotníků a v případě nutnosti dalších záchraných složek. Mimo iniciativu eCall existují také proprietární řešení různých výrobců automobilů, které pracují na podobném principu. Příkladem může být projekt bavorské automobilové firmy BMW s názvem ConnectedDrive. Automobil je vybaven zařízením schopným číst SIM kartu, která mu umožňuje komunikovat s mobilním telefonem a dalšími poskytovanými službami. Řidič je tedy informován o aktuální dopravní situaci a datech získaných

z dalších automobilů. Automobil je vybaven velkou řadou senzorů, které napomáhají v bezpečném řízení.

Smart metering, tedy inteligentní měření, je považováno za klíčový prvek budoucí energetické infrastruktury využívající technologii M2M. V první řadě se zaměřuje na zlepšení účinnosti využití energie koncovými uživateli a tím přispět ke snížení spotřeby energie a snížení emisí. Chytré měřiče jsou měřiče, které mohou pomoci k přenosu přesných informací a vyhodnocení dat o spotřebě, dodávkách energie, slouží také pro monitoring a správu. Komunikace je obousměrná mezi centrálou (dodatelem) a měřidlem. Motivací pro vývoj této technologie je předcházení možným výpadkům, lepší řízení sítě, snížení ztrát, diagnostika sítě, širší nabídka pro zákazníka apod. Pro zákazníka poskytuje smart metering přehled a řízení spotřeby a naopak poskytovatel může nastavovat dynamicky tarify podle informací z dané oblasti, protože má přehled o aktuálních spotřebách v určitém období. Každý měřák musí být schopen spolehlivě a bezpečně komunikovat a předávat informace z dané oblasti, proto je nutné použít stabilní síť, která by tyto podmínky mohla zajistit. Nejlepší řešení spočívá v kombinaci více technologií, například fixní a mobilní. Problémy spojené s komunikací se liší od oblasti, o kterou se jedná, je tedy jasný rozdíl mezi městy a venkovem. Síť pro sběr dat a řízení jsou tvořeny měřidlo a koncentrátory. Koncentrátor je plně programovatelné zařízení užívané v systémech s obousměrnou komunikací pro řízení komunikace a sběr dat z podřízených měřidel a je přímo napojen na datovou centrálu. Řešení pomocí koncentrátoru je ekonomičtější z hlediska toho, že není nutné připojovat každé jednotlivé měřidlo samostatně. Komunikace mezi měřidlem a koncentrátorem je realizována přenosem dat po elektrické síti nebo bezdrátovou komunikací. Přenos po elektrické síti je poměrně stará záležitost, v České republice se provozuje na nízké frekvenci pod názvem **HDO** (*Hromadné dálkové ovládání*). Tento systém je také používán pro přímou regulaci a ovládání, například veřejného osvětlení, dopravních značek apod., distributoři takto mohou nabízet výhodné tarify, kde ovládají spotřebiče s velkým odběrem (bojlery, elektrická topení, ...). Tento typ komunikace není vhodný pro velký objem dat, protože se tím zvětšuje využitá šířka pásma a snižuje dosažitelná vzdálenost. Další možností přenosu je již zmíněná bezdrátová komunikace. Komunikace mezi koncentrátory a centrálou využívá mobilních sítí, a to právě skýtá možnost pro

operátory, poskytování této komunikace. Další části sítě pro smart metering jsou zmíněná datová centra tvořená servery, které se starají o shromažďování a jejich zpracování.

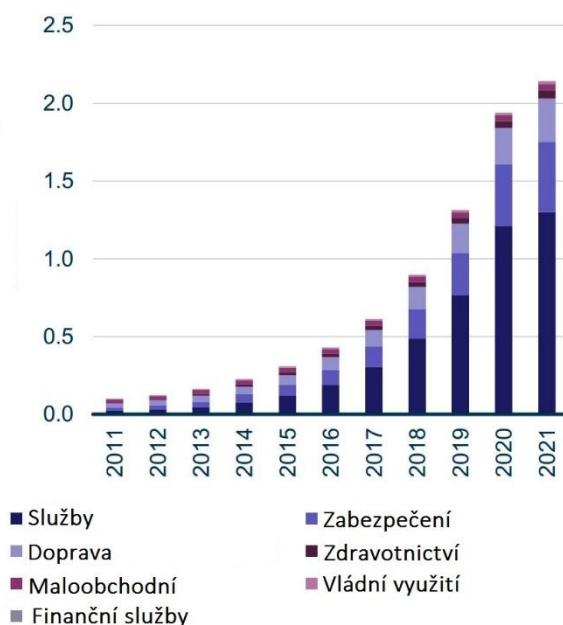
Sítě chytrých měřidel tvoří základ pro inteligentní sítě Smart grids. Smart grids jsou v podstatě elektrické a komunikační sítě v energetickém řetězci tvořeném producenty, distributory a spotřebiteli. Jejich vlastnosti a možnosti vychází ze sítí chytrých měřidel, umožňují tedy operace jako řízení a regulaci v reálném čase. Výhodou při používání inteligentních sítí je predikce a distribuce ekletické energie, která umožňuje snížit procento výpadků a řešit problém mnohem rychleji a přesněji. Inteligentní sítě jsou také schopné flexibilně reagovat na měnící se spotřebu a výrobu v daném okamžiku a umožňují jednodušší integraci obnovitelných zdrojů.



Obrázek 18 - Smart metering [117]

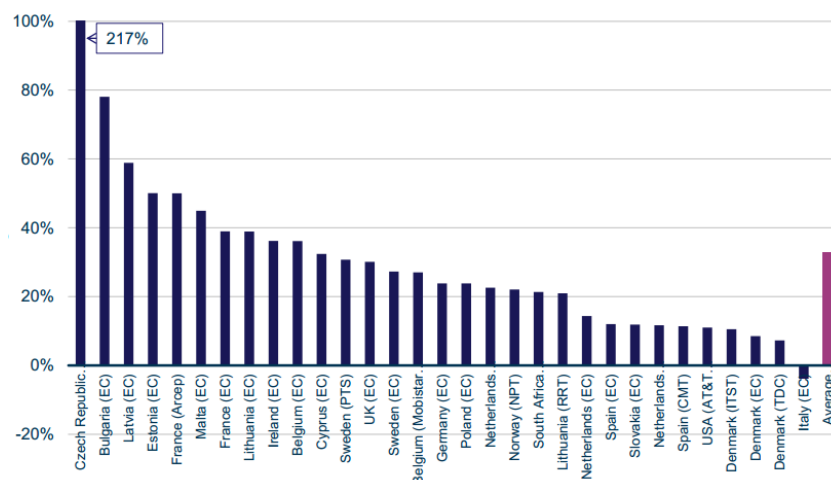
M2M komunikace umožňuje operátorům získávat nové zákazníky, byť se zatím jedná o menší počty, do budoucna je potenciál velký. Především začínají také růst prodejní čísla zařízení tohoto typu, která se podílejí na příjmech a na celkovém růstu. Jedná se o klíčové prostředky pro růst, kterými lze kompenzovat ztráty v jiných segmentech. Především v oblasti telematiky a systémů založených na lokalizaci je do budoucna pro operátory prostor. Pro operátory je nyní nejdůležitější porozumět specifickým potřebám zákazníků a vytvořit vhodný ekosystém.

Podle společnosti Analysys Mason byl počet celosvětově připojených M2M zařízení na konci roku 2011 100,4 miliónů a toto číslo se zvýší na 2,14 miliardy do roku 2021. [103][104] Nejrychleji rostoucí oblasti jsou služby a zdravotnictví, v dalších oblastech jako je zabezpečení, telematika apod. dochází také k velkému rozvoji, viz graf.



Obrázek 19 - Predikce vývoje M2M komunikace v jednotlivých segmentech – počet připojení v miliardách [103][104]

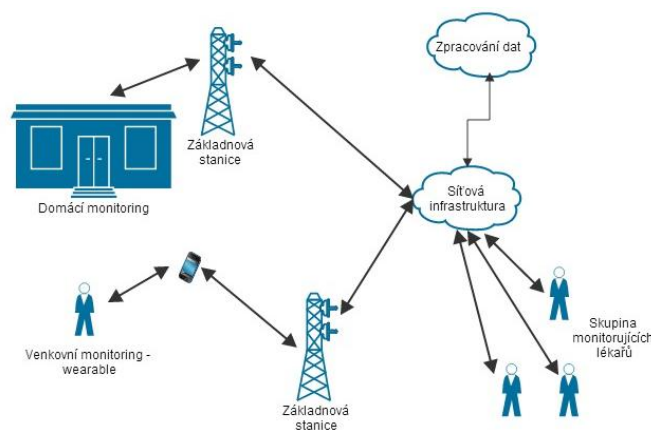
Podle stejné společnosti došlo v případě České republiky k nárůstu komunikace M2M o 217 % v porovnání let 2012 a 2013 v mezinárodním měřítku. [103][104]



Obrázek 20 - Srovnání procentuálního nárůstu v porovnání roku 2012 a 2013 [103][104]

### 4.7.3 Bezdrátové senzorové sítě

Bezdrátové senzorové sítě jsou tvořeny prostorově rozprostřenými autonomními senzory, které jsou určeny ke sledování různých fyzikálních veličin, podmínek a změn. Změřená data jsou prostřednictvím sítě předávána do hlavního uzlu. Původní využití sítí bylo ve vojenském prostředí, armádou Spojených států pro detekci sovětských ponorek. Síť využívala akustických senzorů, které byly rozprostřeny po Atlantiku a Pacifiku. Modernější sítě jsou rozsáhlejší a podporují obousměrnou komunikaci, která umožňuje řízení činnosti senzorů. Tyto sítě jsou využívány v mnoha průmyslových aplikacích, kde mohou sloužit k monitorování a řízení. Celá síť je vybudovaná z uzlů, kde jeden uzel představuje jeden senzor. Každý takový uzel se skládá z několika částí, jak již bylo řečeno, ze senzoru, vysílače s anténou, procesoru, elektrického obvodu a napájení. Náklady na jeden uzel se liší podle velikosti a složitosti. Jak již bylo zmíněno, bezdrátové senzorové sítě lze použít v průmyslu pro monitorování a řízení výroby, další aplikací může být sledování životního prostředí a přírodních procesů na základě kterých je možné predikovat a informovat o přírodních změnách. Další aplikací je monitoring ve zdravotnictví, kde lze sledovat polohu a umístění sledované osoby. Informace o zdraví jako například hodnoty krevního tlaku, cukru apod.



Obrázek 21 - Sběr a zpracování dat v senzorových sítích [107]

Vzhledem k tomu že přítomnost bezdrátových senzorových sítí a zařízení je stále rozšířenější, tvoří tento směr nedílnou součást M2M a IoT a budou se podílet na budoucím úspěchu těchto technologií. V budoucnu mohou tyto sítě tvořit nervovou soustavu pro IoT a v kombinaci s cloud computingem, který zajistí zpracování velkého

množství dat, čítají možné aplikace nepřehledné množství odvětví. Prozatím se ještě aplikace spojené s bezdrátovými senzory potýkají s kompromisy, je nutné standardizovat jak hardwarové tak softwarové řešení. Složitost návrhu představuje jednu z nejvýznamnějších překážek pro ještě větší rozšíření.

#### 4.7.4 Cloud Computing and mobile cloud computing

Cloud computing je novou technologií a unikátním způsobem přístupu k datům, které tvoří dokumenty, různé aplikace, multimediální obsah apod. Unikátnost tohoto přístupu spočívá v dosažitelnosti dat nezávisle na místě, kde se uživatel nachází a době, kdy chce k datům přistupovat, jedinou nutností je datové připojení. Data nejsou uložena v lokálním úložišti uživatele, ale jsou uložena na vzdáleném serveru. V případě aplikací se na serveru vykonávají výpočty, neboť vzdálený hardware poskytuje také výpočetní výkon, uživatel pouze řídí, co se má vykonat.

Cloud nabízí různé typy služeb, které lze dělit a pojmenovat následovně:

- Software jako služba
- Infrastruktura jako služba
- Platforma jako služba
- Úložiště jako služba

Mobilní cloud computing je další využití cloudových služeb. Vyžaduje dostupnost mobilní sítě a samozřejmě mobilní zařízení, které umožňuje využívat všech poskytovaných funkcí. Výhoda využívání tohoto typu cloud computingu spočívá v tom, že uživatelé nemusí mít výkonné zařízení na to, aby mohli využívat všechny aplikace, a nemusí mít velké úložiště, aby mohli přistupovat ke všem datům. Některá mobilní zařízení mají své limitace, neboť využívají odlišné platformy, což představuje problém pro běžné mobilní aplikace, protože jsou určeny pouze pro jednu platformu (mobilní operační systém). Mobilní zařízení se stává jakýmsi terminálem, který využívá přístupu cloudu a tím se odbourává problém způsobený odlišností v platformě, neboť cloud uživateli poskytuje obrovský výpočetní výkon a bohaté služby. To umožňuje zákazníkům používat zařízení s nízkým výkonem, příkladem mohou být mobilní zařízení s operačním systémem Firefox OS.

Dalším způsobem jak oslovit zákazníky je poskytování IT služeb spojených s cloud computingem, kdy odpadá nutnost kupovat vlastní PC či síťovou infrastrukturu, nemusí se starat o stav hardwaru, licence či správu. Není tedy nutné investovat do počítačového vybavení ani IT, vše bude řešeno formou virtuálních desktopů nebo terminálů, které budou sloužit pouze pro přístup k výše uvedeným službám. Výhodou je také velká bezpečnost cloudových služeb, zákazník by si to sám dovolit nemohl.

Je zřejmé, že jak mobilní, tak i obecný cloud computing může vytvořit mnoho zajímavých a nových příležitostí a poskytne inovativní služby pro mobilní uživatele, podniky a operátory, kteří tyto služby budou poskytovat. Tyto možnosti dávají mobilním operátorům prostor zaměřit se na zákazníky, kteří mohou cloudové služby používat. Nemusí jít pouze o firemní segment, ale také o běžné zákazníky a nemusí jít pouze o skupinu zákazníků s chytrými telefony. Velký dopad budou mít tyto služby také na způsob jak nakládat s daty, obecně cloud computing možná změní způsob doručování obsahu k uživateli. Rozvoj těchto služeb staví i operátory před nové výzvy a problémy, především z důvodu nutnosti vysoce spolehlivé konektivity.



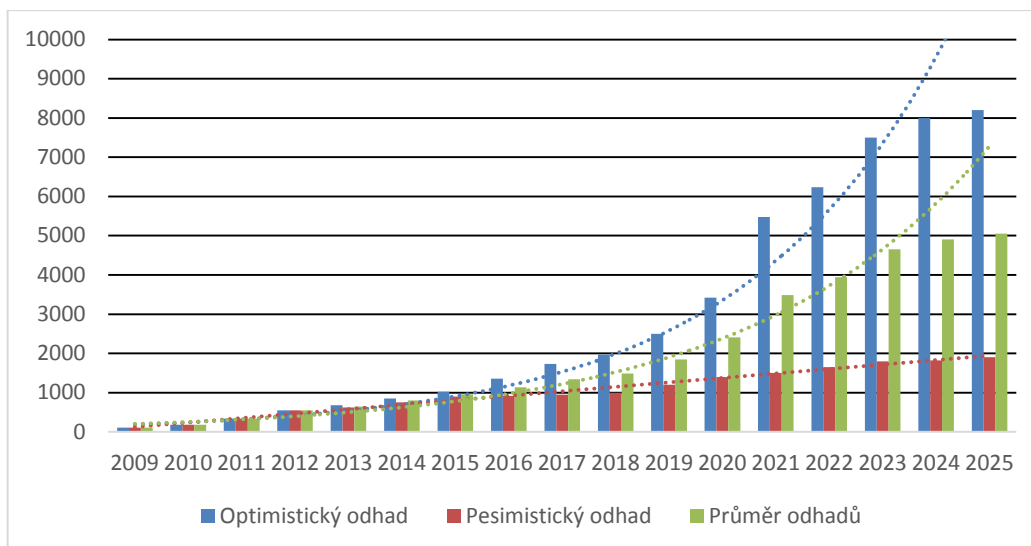
## 5 Závěr

Celkový rozvoj mobilního telekomunikačního trhu je ovlivněn několika faktory, které budou určovat, jakým směrem se budou mobilní komunikace ubírat. Jedním z faktorů jsou administrativně regulační otázky, které se týkají kmitočtového spektra. Kmitočtové spektrum je vyčerpatelné, ale obnovitelné bohatství, se kterým je nutné nakládat obezřetně. Vývoj z pohledu spektra je jednoznačný, je nutné dále pokračovat na přezkoumávání možností použitelného spektra pro mobilní telekomunikační služby a systémy, neboť jsou na frekvenčních přidělech přímo závislé. Nové technologie sice umožňují dosahovat vyšší efektivity díky lepší spektrální účinnosti, avšak pro uspokojení uživatelů je nutné, aby poskytované spektrum bylo širší, než je doposud. Možné řešení se jeví v refarmingu stávajícího používaného a uvolněného spektra, kterým lze dosáhnout jednotnosti přidělených bloků. Rozsah využitelného spektra je možné rozšířit postupným ukončením méně využívaných standardů, které nejsou tak efektivní jako nové technologie. Lze tedy očekávat, že operátoři budou postupně minimalizovat investice do starších technologií jmenovitě 2G a 3G – UMTS, což později přejde v postupné ukončování provozu těchto systémů. Aby toho bylo dosaženo, je nutné přizpůsobit tomuto trendu také portfolia nabízených zařízení a služeb. Díky tomu bude dosaženo volného přechodu na novou technologii.

Je zřejmá značná snaha ze strany operátorů stabilizovat své výnosy, které mají klesající tendenci. Kroky operátorů vedou k rozšiřování portfolia o služby s velkým potenciálem růstu a rostoucí poptávkou stávajících a potenciálních zákazníků. Všechny tyto kroky vedou k dlouhodobé stabilizaci ARPU, případně k minimalizaci jeho dlouhodobého propadu. Pohled operátorů se upírá především na oblasti spojené s technologiemi týkajícími se internetu věcí. Jde hlavně o komunikaci M2M, která má velký potenciál dalšího růstu a rozšiřování do oblasti zdravotnictví, telematiky, sledování majetku apod. Také služby spojené s využitím cloudových technologií se do budoucna jeví jako oblast s velkou zákaznickou základnou z pohledu poskytování úložiště, infrastruktury či výpočetního výkonu. Ostatně i další firmy kromě operátorů se snaží optimalizovat své náklady, a to také v oblasti IT vybavení a služeb. Operátoři mohou poskytovat ucelené řešení s podporou a zabezpečením, které by bylo jinak pro běžné klienty velice nákladné či technicky nerealizovatelné. Všechny tyto oblasti představují nové pole působnosti

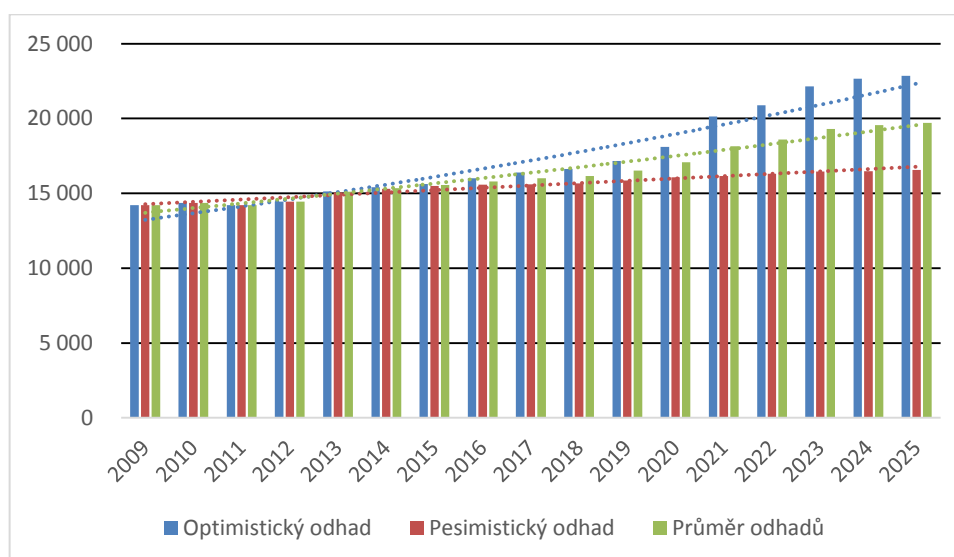
operátorů a tím také případné nové zákazníky a zdroje výnosů, které mohou kompenzovat poklesy z upadajících služeb. Z toho plyne jasná snaha operátorů stát se flexibilním a komplexním poskytovatelem služeb, které sahají od infrastruktury až po různé aplikace. Hledání možností nové působnosti se pro budoucnost operátorů stává povinností, pakliže si chtějí udržet či vylepšit stávající pozici na trhu. Jako příklad lze uvést zakoupení společnosti GTS Novera společností T-Mobile, čímž operátor reaguje na stávající trendy a snaží se být konkurenceschopným ve více oblastech, konkrétně ICT služby poskytované firemním zákazníkům jako například infrastruktura jako služba a další služby založené na cloudových technologiích. Dalším příkladem může být společnost O2, která již nyní reaguje na trendy vedoucí k výše zmíněným technologiím a snaží se získat zákazníky v těchto oblastech službami vedoucími k technologii internetu věcí.

Velké množství nových nebo nastupujících technologií na svém začátku roste z pohledu počtu uživatelů exponenciálně. Později dochází k nasycení a tím také zpomalení růstu. Český trh spojený s technologiemi M2M, potažmo IoT se vyznačuje velkou adaptací dvou aplikací. Jde o aplikace spojené s řízením vozového parku a také se zabezpečovacími systémy. V případě těchto aplikací dochází postupně ke zpomalení růstu a saturaci. V roce 2013 bylo na českém trhu více než půl milionu aktivních SIM karet sloužících k výše uvedené komunikaci a z dosavadního vývoje se dá předpokládat, že toto číslo poroste exponenciálně i nadále. K dalšímu rozvoji také přispívá snižování cen hardwaru a mobilních dat, dále také zmenšování zařízení a lepší pokrytí mobilním signálem. Postupně dochází také ke většímu uvědomění si výhod těchto zařízení zákazníky. Tato technologie umožňuje operátorům, aby se zaměřili na oblasti s ní spojené, neboť pro ně představují výzvu. Především je nutné si uvědomit možnosti rozvoje v oblastech jako je zdravotnictví, asistenční služby, monitoring, chytré domácnosti apod. Možný vývoj počtu M2M SIM karet je zobrazen na grafu. V predikci jsou zohledněny všechny provedené analýzy technologií a trendů na trhu mobilních komunikací. Je možné, že se uvedené aplikace neadaptují ideálním způsobem, z toho důvodu je uveden optimistický, pesimistický odhad a také jejich průměr.



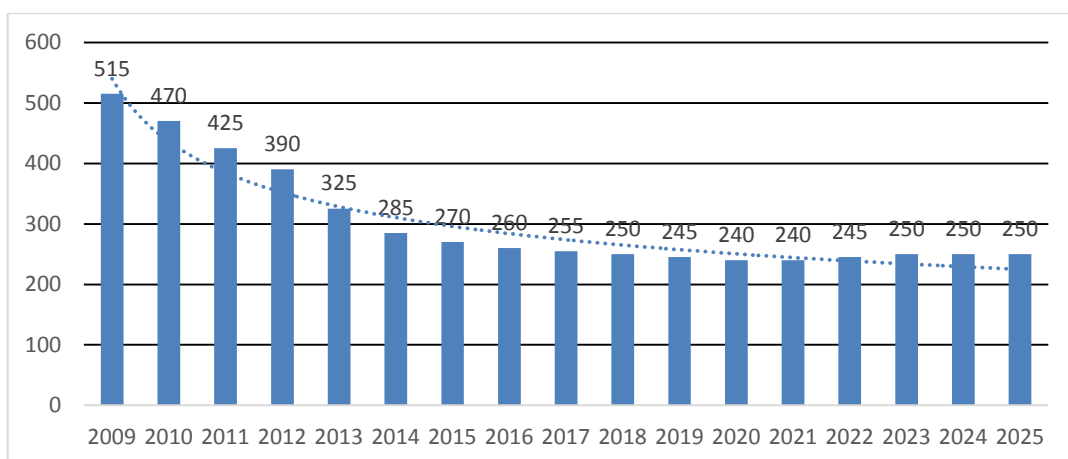
Obrázek 22 - Odhad vývoje počtu SIM karet spojených s M2M a IoT  
(v tisících)

Počet SIM karet pro komunikaci M2M se také promítne do celkového počtu SIM karet, který je kromě toho ovlivněn také rostoucím počtem tabletů a podobných zařízení. V případě tabletů je jejich počet i nadále zvyšuje. V roce 2012 bylo na českém trhu přibližně 215 000 tabletů a tento počet se vyšplhal v roce 2013 na 520 000. Tablet stále představuje spíše doplňkové zboží, proto jejich vývoj na českém trhu bude spíše stagnovat. [121] Celkový počet SIM karet při zohlednění nárůstu tabletů a M2M zařízení má obdobný trend, neboť dojde ke značnému nárůstu zařízení připojených k síti.



Obrázek 23 - Odhad počtu účastníků mobilní telefonní sítě - počet aktivních SIM karet  
(v tisících)

V současné době stále dochází k poklesu výnosů jednotlivých operátorů, i když výnosy klesají nižším tempem než v předešlých letech. Z důvodu zpomalení trendu poklesu bude možné do budoucna mluvit o počínající stabilizaci ARPU. V ostatních zemích Evropské unie se také objevují náznaky možného růstu, ke kterému nejvíce přispívají sítě čtvrté generace a vhodná volba účtovacího modelu, který umožňuje, aby byly tyto služby výnosné. Tento růst však stále není schopen kompenzovat pokles příjmů z hlasových služeb. ARPU je značně ovlivněno také regulačními podmínkami a konkurenčním prostředím, které výnosy také do určité míry limituje. Začlenění nových služeb do portfolia operátorů přispěje z dlouhodobého hlediska také ke stabilizaci výnosů. Otázka předpovědi výnosů ukazuje další zlepšení směrem ke stabilizaci. Nicméně dlouhodobý ekonomický výhled je stále nejistý a existují zde možná rizika, která mohou ovlivnit veškeré odhady.



Obrázek 24 - Odhad měsíčního ARPU

Operátoři se snaží optimalizovat své náklady, neboť v poslední době museli vynaložit značné investice do budování sítí založených na nových technologiích, příkladem je LTE a nástupnická technologie LTE – Advanced. Jedním z možných řešení může být sdílení sítí, které řeší náklady na budování sítí především díky rozložení investic mezi dva operátory, neboť vybudování sítě je jedna z nejnákladnějších položek. V rámci dlouhodobého vývoje se standardizační organizace snaží vytvořit síť, které bude méně náročná, co se týče investic i z pohledu budoucnosti. Objevují se zde náznaky vedoucí k síti, která bude založena na principech SDN a NVF v jádru sítě. Odbourávají se tím investice do nákladných prvků, které budou nahrazeny softwarovým řešením. Toto řešení bude jednotné a univerzální. Z pohledu dalšího vývoje sítě se pak bude jednat o

softwarové balíky, které zajistí novou funkcionalitu, aniž by bylo nutné budovat zcela novou infrastrukturu jako tomu je například u budování sítí LTE a dalších. Volba principu v rámci přístupové sítě bude obdobná a povede také k softwarovému řešení, neodbourá se tím nutnost používání antén a jiných fyzických prvků, ale tento trend bude významným přínosem do budoucna. Snahy týkající se vývoje mobilních sítí páté generace spějí k jednotnosti a tzv. zelené síti, která nebude energeticky náročná. Změny se dotknou i řešení spojení mezi páteřní a přístupovou sítí. Tyto kroky jasně vedou k budoucí optimalizaci nákladů jak na budování, tak i inovace a provoz sítě. Mohou zde být i tendence o oddělení infrastruktury a služeb. V tom případě by to vedlo ke vzniku provozovatelů sítí, kteří by je spravovali a inovovali na základě dohody (velkoobchodní smlouvy) by v jejich síti působily subjekty, které by poskytovaly obsah ve formě služeb s přidanou hodnotou. V dnešní době je možné vidět podobné tendence u společnosti O2, kde se uvažuje o rozdělení společnosti do několika skupin a jejich případném prodeji.

## Seznam literatury

- [1] Macháček, J.: Možnosti rozvoje služeb mobilních sítí 4. generace. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky, Praha 2012.
- [2] Mobilní sítě. *Access Server* [online]. 2004 [cit. 2014-05-10]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072801>
- [3] Vývoj mobilních sítí 2G a 2.5G. *Access Server* [online]. 2005 [cit. 2014-05-10]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005012001>
- [4] Úvod do sítě 3. generace. *UMTS* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [http://www.umts.wz.cz/Mob radio site 3G/uvod do site 3G.htm](http://www.umts.wz.cz/Mob%20radio%20site%203G/uvod%20do%20site%203G.htm)
- [5] Mobile technologies GSM. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.webcitation.org/5yRQjyd8W>
- [6] Sítě UMTS. *Access Server* [online]. 2005 [cit. 2014-05-10]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005113001>
- [7] 3GPP Release 1999. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/article/Release-1999>
- [8] 3GPP Release 4. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/article/release-4>
- [9] 3GPP Release 6. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/article/release-6>
- [10] 3GPP Release 7. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/article/release-7>
- [11] 3GPP Release 8. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/Release-8>
- [12] 3GPP Release 9. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/Release-9>
- [13] 3GPP Release 10. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/Release-10>
- [14] 3GPP Release 11. *3GPP* [online]. 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://3gpp.org/Release-11>
- [15] ADIBI, Sasan, Amin MOBASHER a Tom TOFIGH. *Fourth-generation wireless networks: applications and innovations*. Hershey, PA: Information Science Reference, c2010, xlix, 784 p. ISBN 16-152-0675-2.
- [16] SAUTER, Martin. *From GSM to LTE: an introduction to mobile networks and mobile broadband*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011, xxv, 414 p. ISBN 04-706-6711-7.

- [17] SESIA, Stefania, Issam TOUFIK a Matthew BAKER. *LTE--the UMTS long term evolution: from theory to practice*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, c2011, xl, 752 p. ISBN 978-047-0660-256.
- [18] SAUTER, Martin. *Beyond 3G: bringing networks, terminals, and the Web together : LTE, WiMAX, IMS, 4G devices and the mobile Web 2.0*. Hoboken, NJ: Wiley, 2009, xii, 354 p. ISBN 978-047-0751-886.
- [19] Agilent 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges. *Agilent Technologies*[online]. 2009 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>
- [20] ITU-R. *Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface: REPORT ITU-R M.2134* [online]. 2008 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf)
- [21] ETSI. *Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA* [online]. 2011 [cit. 2012-05-1]. Dostupné z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/136900\\_136999/136912/10.00.00\\_60/tr\\_136912v1\\_00000p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136912/10.00.00_60/tr_136912v1_00000p.pdf)
- [22] 3GPP. *Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access* [online]. 2008, 2011 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36913.htm>
- [23] NOMOR RESEARCH. *Initial thoughts on LTE Advanced for 3GPP Release 10* [online]. 2009 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://www.nomor.de/uploads/Ce/bj/CebJDb4epybXUfkHqEQSgg/Newsletter\\_2009-05.pdf](http://www.nomor.de/uploads/Ce/bj/CebJDb4epybXUfkHqEQSgg/Newsletter_2009-05.pdf)
- [24] ZTE CORPORATION. *LTE-A Leads Future Wireless Communications* [online]. [cit. 2014-05-1]. Dostupné z: [http://wwen.zte.com.cn/en/solutions/wireless/lte/fdd\\_lte/201010/t20101025\\_19382\\_5.html](http://wwen.zte.com.cn/en/solutions/wireless/lte/fdd_lte/201010/t20101025_19382_5.html)
- [25] *WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard* [online]. 2010 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document\\_library/wimax\\_802.16m.pdf](http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_802.16m.pdf)
- [26] LTE Spectrum and Network Strategies: Strategic Options for Mobile Operators in Dynamic 4G Mobile Markets. *Adlittle* [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: [http://www.adlittle.com/downloads/tx\\_adlreports/ADL\\_LTE\\_Spectrum\\_Network\\_Strategies.pdf](http://www.adlittle.com/downloads/tx_adlreports/ADL_LTE_Spectrum_Network_Strategies.pdf)
- [27] Spectrum Auction Results. *KB Spectrum* [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: [http://kbspectrum.com/blog/?page\\_id=348](http://kbspectrum.com/blog/?page_id=348)
- [28] Making sense of European spectrum auctions. *Telecoms* [online]. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.telecoms.com/20427/making-sense-of-european-spectrum-auctions/>

- [29]Státní politika v elektronických komunikacích - Digitální Česko. In: *Státní politika v elektronických komunikacích - Digitální Česko* [online]. Praha, 2011 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument83642.html>
- [30]DAHLMAN, Erik, Stefan PARKVALL a Johan SKÖLD. *4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband*. Amsterdam: Academic Press, 2011, xxiv, 431 s. technology/telecommunications. ISBN 978-0-12-385489-6.
- [31]Vývoj mobilních sítí. Neu-Mann.cz [online]. 2008 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.neu-mann.cz/mobilni-komunikace/mobilni-technologie/architektura-systemu-gsm/>
- [32]*Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. 2002 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/index.htm>
- [33]EDGE, HSPA, LTE: The Mobile Broadband Advantage. [online]. 2007 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: [http://www.rysavy.com/Articles/2007\\_09\\_Rysavy\\_3GAmericas.pdf](http://www.rysavy.com/Articles/2007_09_Rysavy_3GAmericas.pdf)
- [34]3GPP specification 23.272. [online]. 2012 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/23272-a70.pdf>
- [35]Česká republika. Zákon č.127/2005 Sb.,:o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů*. 2010, 95. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/soubor/sbirka-zakonu-dokumenty-sb095-10-pdf.aspx>
- [36]Tisková zpráva - Revoluce u O2: Tři jednoduché tarify FREE a zcela neomezené volání a SMS za 749 korun. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:[http://www.o2.cz/spolecnost/tiskove-zpravy/310009-Revoluce\\_u\\_O2\\_Tri\\_jednoduche\\_tarify\\_FREE\\_a\\_zcela\\_neomezene\\_volani\\_a\\_SMS\\_za\\_749\\_korun.html](http://www.o2.cz/spolecnost/tiskove-zpravy/310009-Revoluce_u_O2_Tri_jednoduche_tarify_FREE_a_zcela_neomezene_volani_a_SMS_za_749_korun.html)
- [37]Výroční zpráva ČTU 2013. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [https://www.ctu.cz/cs/download/vyrocní\\_zpravy/vyrocní\\_zprava\\_ctu\\_2013\\_.pdf](https://www.ctu.cz/cs/download/vyrocní_zpravy/vyrocní_zprava_ctu_2013_.pdf)
- [38]Telekomunikační a internetová infrastruktura. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:[http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/telekomunikacni\\_a\\_internetova\\_infrastruktura](http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/telekomunikacni_a_internetova_infrastruktura)
- [39]Výroční zprávy O2. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:<http://www.o2.cz/spolecnost/vyrocní-a-pololetní-zpravy/>
- [40]ČTU Kontrola rozvojových kritérií. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:<http://lte.ctu.cz/pokryti/>
- [41]Souhrn výsledků aukce 20. 11. 2013. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:[http://www.ctu.cz/cs/download/vyberova\\_rizeni/vyhlaseni\\_vyberoveho\\_rizeni\\_15\\_08\\_2013\\_souhrn\\_vysledku\\_aukce\\_20\\_11\\_2013.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/vyberova_rizeni/vyhlaseni_vyberoveho_rizeni_15_08_2013_souhrn_vysledku_aukce_20_11_2013.pdf)
- [42]2014 Report on Implementation of the EU regulatory framework for electronic communications. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:



<https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/2014-report-implementation-eu-regulatory-framework-electronic-communications>

[43] Vyhlášení výběrového řízení 15. 08. 2013. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.ctu.cz/cs/download/vyberova\\_rizeni/vyhlaseni\\_vyberoveho\\_rizeni\\_15\\_08\\_2013.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/vyberova_rizeni/vyhlaseni_vyberoveho_rizeni_15_08_2013.pdf)

[44] Tisková zpráva - Sdílení sítí. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [https://www.o2.cz/spolecnost/tiskove-zpravy/375159-O2\\_a\\_T-Mobile\\_zacinaji\\_sdilet\\_stavajici\\_site\\_2G\\_a\\_3G.html](https://www.o2.cz/spolecnost/tiskove-zpravy/375159-O2_a_T-Mobile_zacinaji_sdilet_stavajici_site_2G_a_3G.html)

[45] Telefónica a T-Mobile se chtějí dohodnout na sdílení sítí. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/telefonika-a-t-mobile-se-chteji-dohodnout-na-sdileni-siti/>

[46] Network Sharing - Redefining telecom with a structured approach. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.atkearney.com/documents/10192/178350/network\\_sharing\\_secure.pdf/0af9616c-6291-42fb-82db-821bb007bc23](http://www.atkearney.com/documents/10192/178350/network_sharing_secure.pdf/0af9616c-6291-42fb-82db-821bb007bc23)

[47] Network sharing MORAN and MOCN for 3G. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [https://academy.itu.int/moodle/pluginfile.php/51366/mod\\_resource/content/1/NSN\\_NW%20Sharing%20MORAN%20and%20MOCN%20for%203G\\_revised.pdf](https://academy.itu.int/moodle/pluginfile.php/51366/mod_resource/content/1/NSN_NW%20Sharing%20MORAN%20and%20MOCN%20for%203G_revised.pdf)

[48] Vyhlášení výběrového řízení 17.06.2014. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.ctu.cz/cs/download/aktualni\\_informace/vyhlaseni\\_vyberoveho\\_rizeni\\_17\\_06\\_2014.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/aktualni_informace/vyhlaseni_vyberoveho_rizeni_17_06_2014.pdf)

[49] Connected Continent legislative package. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/node/67489/#open\\_internet](http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/node/67489/#open_internet)

[50] I-mode. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <https://www.nttdocomo.co.jp/english/service/imode/>

[51] Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down measures concerning the European single market for electronic communications and to achieve a Connected Continent. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%2015923%202014%20INIT>

[52] EU - Regulatory Framework for electronic communications in the European Union. [online]. 2009 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/Copy%20of%20Regulatory%20Framework%20for%20Electronic%20Communications%202013%20NO%20CROPS.pdf>

[53] European single market for electronic communications. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2014-0190+0+DOC+XML+V0//EN#title1>

- [54] Connected Continent legislative package. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/node/67489/#roaming>
- [55] European Commission, 2012. Radio Spectrum Policy Programme. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/rspp-roadmap-wireless-europe>
- [56] Authorized Shared Access (ASA): An evolutionary spectrum authorization scheme for sustainable economic growth and consumer benefit. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.cept.org/Documents/cg-crs/363/CGCRS%2811%2907%20Presentation-of-ASA-concept-%28FM%2811%29116-Attachment%29>
- [57] Strategie správy rádiového spektra. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.ctu.cz/cs/download/aktualni\\_informace/strategie\\_specetra\\_navrh\\_09-2014.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/aktualni_informace/strategie_specetra_navrh_09-2014.pdf)
- [58] Digitální Česko v. 2.0 – Cesta k digitální ekonomice. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Digitalni-Cesko-v--2-0\\_120320.pdf](http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Digitalni-Cesko-v--2-0_120320.pdf)
- [59] RAPPAPORT, T. S., SHU SUN, R. MAYZUS, HANG ZHAO, Y. AZAR, K. WANG, G. N. WONG, J. K. SCHULZ, M. SAMIMI a F. GUTIERREZ. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!. *IEEE Access* [online]. 2013, vol. 1, s. 335-349 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/ACCESS.2013.2260813. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6515173>
- [60] Description of the spectrum needs and usage principles. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS\\_D5.3\\_v1.pdf](https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D5.3_v1.pdf)
- [61] Future Generations of Mobile Communication Networks. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://aocrj.org/wp-content/uploads/2013/01/Farooq.pdf>
- [62] Ericsson (Stockholm, Sweden, July 2014), Ericsson 5G delivers 5Gbps speeds. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.ericsson.com/news/1810070>
- [63] *IEEE Communications Magazine* [online]. 2014, vol. 52, issue 5 [cit. 2014-12-23]. ISSN 0163-6804. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6815891>
- [64] OSSEIRAN, Afif, Federico BOCCARDI, Volker BRAUN, Katsutoshi KUSUME, Patrick MARSCH, Michal MATERNIA, Olav QUESETH, Malte SCHELLMANN, Hans SCHOTTEN, Hidekazu TAOKA, Hugo TULLBERG, Mikko A. UUSITALO, Bogdan TIMUS a Mikael FALLGREN. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2014, vol. 52, issue 5, s. 26-35 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6815890. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6815890>
- [65] CHIH-LIN I, JINRI HUANG, RAN DUAN, CHUNFENG CUI, Jesse Xiaogen JIANG a LEI LI. Recent Progress on C-RAN Centralization and Cloudification. *IEEE Access* [online]. 2014,

vol. 2, s. 1030-1039 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/ACCESS.2014.2351411. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6882182>

[66]GOHIL, A., H. MODI a S. K. PATEL. 5G technology of mobile communication: A survey. *2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP)* [online]. IEEE, 2013, s. 288-292 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/ISSP.2013.6526920. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6526920>

[67]JANEVSKI, Toni. 5G Mobile Phone Concept. *2009 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference* [online]. IEEE, 2009, s. 1-2 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/CCNC.2009.4784727. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4784727>

[68]DEMESTICHAS, Panagiotis, Andreas GEORGAKOPOULOS, Dimitrios KARVOUNAS, Kostas TSAGKARIS, Vera STAVROULAKI, Jianmin LU, Chunshan XIONG a Jing YAO. 5G on the Horizon: Key Challenges for the Radio-Access Network. *IEEE Vehicular Technology Magazine* [online]. 2013, vol. 8, issue 3, s. 47-53 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/MVT.2013.2269187. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6568922>

[69]FELITA, Cantika a Muhammad SURYANEGARA. 5G key technologies: Identifying innovation opportunity. *2013 International Conference on QiR* [online]. IEEE, 2013, s. 235-238 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/QiR.2013.6632571. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6632571>

[70]WANG, Yi, Jian LI, Lei HUANG, Yao JING, Andreas GEORGAKOPOULOS a Panagiotis DEMESTICHAS. 5G Mobile: Spectrum Broadening to Higher-Frequency Bands to Support High Data Rates. *IEEE Vehicular Technology Magazine* [online]. 2014, vol. 9, issue 3, s. 39-46 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/MVT.2014.2333694. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6894298>

[71]5G radio network architecture: Radio Access and Spectrum - FP7 Future Networks Cluster. [online]. [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: [http://fp7-semafour.eu/media/cms\\_page\\_media/9/SEMAFOUR\\_2014\\_RAScluster%20White%20paper.pdf](http://fp7-semafour.eu/media/cms_page_media/9/SEMAFOUR_2014_RAScluster%20White%20paper.pdf)

[72]Advanced 5G Network Infrastructure for the Future Internet Public Private Partnership in Horizon 2020. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/Advanced-5G-Network-Infrastructure-PPP-in-H2020\\_Final\\_November-2013.pdf](http://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/Advanced-5G-Network-Infrastructure-PPP-in-H2020_Final_November-2013.pdf)

[73]Horizon 2020 Advanced 5G Network Infrastructure for Future Internet PPP Industry Proposal (Draft Version 2.1). [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.networks-etp.eu/fileadmin/user\\_upload/Home/draft-PPP-proposal.pdf](http://www.networks-etp.eu/fileadmin/user_upload/Home/draft-PPP-proposal.pdf)

[74]Mobile and Wireless Communications system for 2020 and beyond (5G): Radio Access and Spectrum - FP7 Future Networks Cluster. [online]. [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/oth/0a/06/ROA0600005C0001PDFE.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/06/ROA0600005C0001PDFE.pdf)

- [75] FETTWEIS, Gerhard a Siavash ALAMOUTI. 5G: Personal mobile internet beyond what cellular did to telephony. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2014, vol. 52, issue 2, s. 140-145 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6736754. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6736754>
- [76] SDN Architecture Overview. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/SDN-architecture-overview-1.0.pdf>
- [77] Network Functions Virtualization. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.etsi.org/images/files/ETSI Technology Leaflets/Network Functions Virtualization.pdf](http://www.etsi.org/images/files/ETSI%20Technology%20Leaflets/NetworkFunctionsVirtualization.pdf)
- [78] ZAKRZEWSKA, Anna a Villy B. IVERSEN. Resource sharing in heterogeneous and Cloud Radio Access Networks. *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems* [online]. IEEE, 2012, s. 34-39 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/ICUMT.2012.6459691. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6459691>
- [79] HEIDE, Janus, Frank H. P. FITZEK, Morten Videbaek PEDERSEN a Marcos KATZ. Green mobile clouds: Network coding and user cooperation for improved energy efficiency. *2012 IEEE 1st International Conference on Cloud Networking (CLOUDNET)* [online]. IEEE, 2012, s. 111-118 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/CloudNet.2012.6483664. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6483664>
- [80] Network Functions Virtualisation. [online]. 2012 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://portal.etsi.org/NFV/NFV White Paper.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf)
- [81] The Benefits of Cloud-RAN Architecture in Mobile Network Expansion. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/whitepapers/CloudRANwp.pdf>
- [82] VERMESAN, Dr. Ovidiu a Dr. Peter FRIESS. *Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. 3rd ed. Halifax (UK): CASAGRAS2, 2013. ISBN 978-879-2982-964.
- [83] *Internet of Things - From Research and Innovation to Market Deployment*. River Publishers, 2014. ISBN 978-87-93102-94-1.
- [84] [EDITED BY IAN G, Smith]. *The internet of things 2012: new horizons*. 3rd ed. Halifax (UK): CASAGRAS2, 2012. ISBN 978-095-5370-793.
- [85] LU TAN a NENG WANG. Future internet: The Internet of Things. *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)* [online]. IEEE, 2010, V5-376-V5-380 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/ICACTE.2010.5579543. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5579543>
- [86] *From the internet of computers to the internet of things*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2010-01-01. ISBN 3-642-17225-3 978-3-642-17225-0.

- [87]Coetzee, L.; Eksteen, J., "The Internet of Things - promise for the future? An introduction," *IST-Africa Conference Proceedings, 2011* , vol., no., pp.1,9, 11-13 May 2011  
Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6107386&isnumber=6107324>
- [88]Technologies and Architectures of the Internet-of-Things (IoT) for Health and Well-being. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:621384/FULLTEXT01.pdf>
- [89]From concept to delivery: the M2M market today. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <https://gsmaintelligence.com/files/analysis/?file=140217-m2m.pdf>
- [90]The Global M2M Market in 2013: Machina Research - White Paper. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.telecomengine.com/sites/default/files/temp/CEBIT\\_M2M\\_WhitePaper\\_2012\\_01\\_11.pdf](http://www.telecomengine.com/sites/default/files/temp/CEBIT_M2M_WhitePaper_2012_01_11.pdf)
- [91]Machine to Machine technologies: Unlocking the potential of a \$1 trillion industry. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.carbonwarroom.com/what-we-do/research-publications/M2MReport>
- [92]CHEN, Min, Yulei WU a Athanasios V. VASILAKOS. Advances in Mobile Cloud Computing. *Mobile Networks and Applications* [online]. 2014, vol. 19, issue 2, s. 131-132 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1007/s11036-014-0503-1. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11036-014-0503-1>
- [93]Strategy Recommendations on Networking and Telecommunications for Cloud Computing and Service Platforms. [online]. 2012 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.networks-etp.eu/fileadmin/user\\_upload/Publications/Position\\_White\\_Papers/NetWorks-Clouds\\_12-07-02.pdf](http://www.networks-etp.eu/fileadmin/user_upload/Publications/Position_White_Papers/NetWorks-Clouds_12-07-02.pdf)
- [94]MOBILE SERVICES EVOLUTION 2008-2018. [online]. 2008 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://ehealth-connection.org/files/conf-materials/mServices%20Evolution\\_0.pdf](http://ehealth-connection.org/files/conf-materials/mServices%20Evolution_0.pdf)
- [95]Mobile Cloud Networking: Virtualisation of Cellular Networks. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.iam.unibe.ch/~jamakovic/MCN\\_ICT2014\\_IEEE.pdf](http://www.iam.unibe.ch/~jamakovic/MCN_ICT2014_IEEE.pdf)
- [96]CLOUD COMPUTING AND INTERNET OF THINGS FOR SMART CITY DEPLOYMENTS. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.iam.unibe.ch/~jamakovic/MCN\\_ICT2014\\_IEEE.pdf](http://www.iam.unibe.ch/~jamakovic/MCN_ICT2014_IEEE.pdf)
- [97]Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC\\_Cluster\\_Book\\_2014\\_Ch.3\\_SRIA\\_WEB.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf)
- [98]Mobile traffic forecasts 2010 - 2020. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://groups.itu.int/Portals/17/SG5/WP5D/Workshops%20on%20IMT%20for%20the%20Next%20Decade/ECC-UMTS-FORUM-PRESENTATION.pdf>

- [99]On the role of infrastructure sharing for mobile network operators in emerging markets. [online]. [cit. 2014-12-23]. DOI: doi:10.1016/j.comnet.2011.01.023.
- [100]ECall: Time saved = lives saved. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/ecall-time-saved-lives-saved>
- [101]Connectivity Technologies. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:[http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2013/connectivity\\_technologies/index.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2013/connectivity_technologies/index.html)
- [102]Dostupné dokumenty Single market for gas & electricity. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:[http://ec.europa.eu/energy/gas\\_electricity/smartgrids/smartgrids\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/smartgrids_en.htm)
- [103]M2M DEVICE CONNECTIONS, REVENUE AND ARPU: WORLDWIDE FORECAST 2011–2021. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.analysismason.com/Research/Content/Reports/M2M-forecast-May2012-RDME0/>
- [104]Future of M2M. [online]. 2013 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z:<http://www.cambridgewireless.co.uk/Presentation/Mobile%20Broadband%20SIG%20-%20The%20Future%20of%20M2M%20-%2004%2012%2013.pdf>
- [105]AKYILDIZ, I.F., WEILIAN SU, Y. SANKARASUBRAMANIAM a E. CAYIRCI. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2002, vol. 40, issue 8, s. 102-114 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/MCOM.2002.1024422. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1024422>
- [106]SOHRABY, Kazem, Daniel MINOLI a Taieb ZNATI. *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. Hoboken: Wiley, 2007, xv, 307 s. ISBN 978-0-471-74300-2.
- [107]DARGIE, Walteneus, Christian POELLABAUER a Taieb ZNATI. *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*. Hoboken, NJ: Wiley, 2010, xviii, 311 p. ISBN 04-709-9765-6.
- [108]RAO, B. B. P., P. SALUIA, N. SHARMA, A. MITTAL a S. V. SHARMA. Cloud computing for Internet of Things. *2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST)* [online]. IEEE, 2012, s. 374-380 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1109/ICSensT.2012.6461705. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6461705>
- [109]ATZORI, Luigi, Antonio IERA, Giacomo MORABITO, A. MITTAL a S. V. SHARMA. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks* [online]. IEEE, 2010, vol. 54, issue 15, s. 2787-2805 [cit. 2014-12-23]. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128610001568>
- [110]Výroční zprávy operátora. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.telekom.com/investor-relations>
- [111]Výroční zprávy operátora. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.orange.com/en/finance>

- [112] Dropping GSM or UMTS for LTE. [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.omnitele.com/2013/drop-gsm-or-umts-for-lte/>
- [113] Assessment of the global mobile broadband deployments and forecasts for International Mobile Telecommunications: Report ITU-R M.2243. [online]. 2011 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2243-2011-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2243-2011-PDF-E.pdf)
- [114] Ericsson Mobility Report: June 2014. [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.ericsson.com/res/docs/2014/ericsson-mobility-report-june-2014.pdf>
- [115] Podmínky výběrového řízení na udělení telekomunikačních licencí ke zřizování a provozování veřejných mobilních telekomunikačních sítí: Aukce na licence UMTS. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/cs/download/umts/ctu-umts-podminky-2001-1114768092.pdf>
- [116] The 5G future scenarios identified by METIS –The first step toward a 5G mobile and wireless communications system. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: [https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/2013/09/METIS\\_PressRelease\\_20130905.pdf](https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/2013/09/METIS_PressRelease_20130905.pdf)
- [117] SMART METERING: JUST GOT A LOT SMARTER. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: SMART METERING: JUST GOT A LOT SMARTER. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <https://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/smart-metering.pdf>
- [118] DOCOMO 5G White Paper: 5G Radio Access: Requirements, Concept and Technologies. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: [https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper\\_5g/DOCOMO\\_5G\\_White\\_Paper.pdf](https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_5g/DOCOMO_5G_White_Paper.pdf)
- [119] Rozhodnutí Evropské komise 2011/251/EU. In: 2011. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:106:0009:0010:EN:PDF>
- [120] Mapa ITU Regionálního rozdělení. [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.mapability.com/ei8ic/maps/regions.gif>
- [121] Počet tabletů a smartphonů se má do 2015 zdvojnásobit. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: [http://www.mediaguru.cz/aktuality/pocet-tabletu-a-smartphonu-se-ma-do-r-2015-zdvojnaso-bit/#.VKMU9SuG\\_rQ](http://www.mediaguru.cz/aktuality/pocet-tabletu-a-smartphonu-se-ma-do-r-2015-zdvojnaso-bit/#.VKMU9SuG_rQ)
- [122] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white\\_paper\\_c11-520862.html](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Počet aktivních SIM karet v České republice (v tisících) [38] .....	21
Obrázek 2 - Tržní podíly jednotlivých operátorů podle počtu zákazníků v ČR (v tisících) [38] .....	21
Obrázek 3 - Srovnání počtu předplacených a smluvních karet podle počtu zákazníků v ČR (v tisících) [38].....	22
Obrázek 4 - Srovnání počtu účastníků mobilní a pevné sítě v ČR (v tisících) [38] .....	23
Obrázek 5 - Národní odchozí telefonní provoz v ČR (počet provolaných minut v milionech) [38].....	23
Obrázek 6 - Penetrace mobilním telefonem 16 let a starší v ČR (v procentech) [38].....	24
Obrázek 7 - Penetrace mobilním telefonem dle věkových skupin v ČR (v tisících) [38] ..	24
Obrázek 8 - Vývoj ARPU za nehlasové služby [39],[110],[111].....	26
Obrázek 10 - Způsob sdílení věží mezi operátory [46][47] .....	33
Obrázek 9 - Způsob sdílení prostorů mezi operátory [46][47] .....	33
Obrázek 11 - Způsob sdílení přístupové sítě mezi operátory [46][47].....	34
Obrázek 12 - Regionální dělení dle ITU [120].....	40
Obrázek 13 - Způsob sdílení spektra realizovaný na základě LSA [56].....	48
Obrázek 14 - Rozdělení projektů v rámci EU .....	54
Obrázek 15 - Přístupová část sítě - C-RAN [81] .....	57
Obrázek 16 - Komunikace pomocí makroasistovaných malých buněk [118] .....	60
Obrázek 17 - Komunikace v rámci IoT [86].....	61
Obrázek 18 - Smart metering [117] .....	68
Obrázek 19 - Predikce vývoje M2M komunikace v jednotlivých segmentech – počet připojení v miliardách [103][104] .....	69
Obrázek 20 - Srovnání procentuálního nárůstu v porovnání roku 2012 a 2013 [103][104] .....	69
Obrázek 21 - Sběr a zpracování dat v senzorových sítích [107] .....	70
Obrázek 22 - Odhad vývoje počtu SIM karet spojených s M2M a IoT .....	75
Obrázek 23 - Odhad počtu účastníků mobilní telefonní sítě - počet aktivních SIM karet	75
Obrázek 24 - Odhad měsíčního ARPU .....	76



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Srovnání technologií dle vybraných kritérií [1] .....	17
Tabulka 2 - Predikce změny struktury mobilních terminálů [113] .....	25
Tabulka 3 - Predikce měsíčního objemu datového provozu na mobilní terminál v MB [113] .....	25
Tabulka 4 - Predikce vývoje struktury datového provozu dle služby [114] .....	27
Tabulka 5 - Procentuální pokrytí populace a území v ČR [40] .....	27
Tabulka 6 - Souhrn výsledků aukce kmitočtů (uvedené ceny jsou v milionech Kč) [41]..	29
Tabulka 7 - Rozdělení bloků v pásmu 1800 MHz [48] .....	42
Tabulka 8 - Rozdělení bloků v pásmu 2600 MHz [48] .....	42

## Seznam použitých zkratk

1G	<i>1. generace mobilních sítí</i>
2G	<i>2. generace mobilních sítí</i>
3G	<i>3. generace mobilních sítí</i>
4G	<i>4. generace mobilních sítí</i>
5G	<i>5. generace mobilních sítí</i>
FP7	<i>7th Framework Program</i>
FP8	<i>8th Framework Program</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
ARPU	<i>Average Revenue Per User</i>
BBU	<i>Baseband Unit</i>
CSFB	<i>Circuit Switched Fall Back</i>
CSD	<i>Circuit Switched Data</i>
CPRI	<i>Common Public Radio Interface</i>
CDN	<i>Content Delivery Distribution Network</i>
COMP	<i>Co-ordinated Multi-Point</i>
ČTÚ	<i>Český Telekomunikační Úřad</i>
DPI	<i>Deep Packet Inspection</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i>
DVB-T2	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
eNodeB	<i>Evolved Node B</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
FUP	<i>Fair usage user policy</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FDMA over TDMA	<i>Frequency Division Multiple Access over Time Division Multiple Access</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
HS-CSD	<i>High Speed-Circuit Switched Data</i>
HSDPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA+	<i>High-Speed Packet Access plus</i>
HSUPA	<i>High-Speed Uplink Packet Access</i>

HDO	<i>Hromadné dálkové ovládání</i>
H-ARQ	<i>Hybrid-Automatic Repeat Request</i>
IT	<i>informační technologie</i>
ICT	<i>Information and Communication Technologies</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMT - Advanced	<i>International Mobile Telecommunications – Advanced</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications 2000</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IMS	<i>Internet protocol Multimedia Subsystem</i>
iJOIN	<i>Interworking and JOINT Design of an Open Access and Backhaul Network Architecture for Small Cells based on Cloud Networks</i>
ITU-R	<i>ITU – Radiocommunication Sector</i>
LSA	<i>Licensed Shared Access</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
M2M	<i>Machine to machine</i>
MAMMOET	<i>MAssive MiMO for Efficient Transmission</i>
METIS	<i>Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society</i>
MNO	<i>Mobile Network Operator</i>
MVNO	<i>Mobile Virtual Network Operator</i>
MBMS	<i>Multimedia Broadcast/Multicast Services</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
NFC	<i>Near field communication</i>
NFV	<i>Network Functions Virtualization</i>
NMT	<i>Nordic Mobile Telephony</i>
OBSAI Interface	<i>Open Base Station Architecture Initiative Interface</i>
OS	<i>Operační systém</i>
OSN	<i>Organizace Spojených Národů</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RFID	<i>Radio-frequency identification</i>
RRHs	<i>Remote Radio Heads</i>

SON	<i>Self Optimizing Network</i>
SMRA	<i>Simultaneous Multiple Round Auction</i>
SV-LTE	<i>Simultaneous Voice LTE</i>
SC-FDMA	<i>Single-carrier FDMA</i>
SDN	<i>Software Defined Networking</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
5G PPP	<i>The 5G infrastructure Public Private Partnership</i>
5GNOW	<i>The 5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for asynchronous signaling</i>
3GPP	<i>The 3rd Generation Partnership Project</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TD-LTE	<i>Time Division LTE</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TD-SCDMA	<i>Time Division Synchronous Code Division Multiple Access</i>
TACS	<i>Total Access Communication System</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
VoIP	<i>Voice Over IP</i>
VoLTE	<i>Voice over LTE</i>
VoLGA	<i>Voice over LTE via Generic Access Network</i>
W-CDMA	<i>Wideband-Code Division Multiple Access</i>
Wi-Fi	<i>Wireless - fidelity</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WRC	<i>World Radiocommunication Conference</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>