

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Využitelnost a efektivita 5G mobilního Internetu

Luboš Dvořák

Bakalářská práce
2021

ZADÁNÍ

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Luboš Dvořák**
Osobní číslo: **I17100**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Téma práce: **Využitelnost a efektivita 5G mobilního Internetu**
Zadávající katedra: **Katedra informačních technologií**

Zásady pro vypracování

Cílem této bakalářské práce v teoretické části bude zmapování současného stavu mobilního Internetu (včetně pokrytí 5G) v České republice a v EU a návrhy řešení problému využitelnosti mobilního Internetu pro podnikové aktivity. Zmapování stavu mobilního Internetu bude zahrnovat všechny v ČR dostupné mobilní datové technologie (Generace 2,5 a vyšší, tj. GPRS, EDGE, CDMA, UMTS, HSPA(+), LTE, atd.) jejichž vlastnosti budou v této práci s ohledem na jejich využití popsány. Bakalářská práce se bude zabývat i konkrétním nasazením mobilního Internetu ve zvoleném podniku (či neziskové organizaci) u kterého bude realizována analýza s přínosy a nedostatky využití zvolených mobilních datových technologií.

V praktické části bakalářské práce jako druhý cíl bude změřeni kvality (přenosové rychlosti pro downlink i uplink, latence) poskytovaných služeb základních třech mobilních operátorů (O2, T-Mobile, Vodafone) a vybraných mobilních datových technologií (2,5G/3G/4G/5G) v několika referenčních místech a vyhodnocení tohoto srovnání. Součástí praktické části bude i webová aplikace, která dle uživatelem zadaných vstupů (poloha, případné požadavky na parametry rychlosti atd.) vyhodnotí na základě získaných podkladů nevhodnějšího poskytovatele mobilního internetového připojení.

Rozsah pracovní zprávy: **35**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Stephen S. Mwanje (Editor), Christian Mannweiler (Editor). *Towards Cognitive Autonomous Networks: Network Management Automation for 5G and Beyond*. Croydon: John Wiley and Sons Ltd, 2020. ISBN 978-1119586388.
2. KYSELA, Jiří, ZELENKA, Josef. *Informační a komunikační technologie v cestovním ruchu*. Hradec Králové: Gaudeamus, 2013. ISBN 978-80-7435-242-3.
3. WEERAWARDANE, Thushara. *Optimization and Performance Analysis of High Speed Mobile Access Network*. Wiesbaden: Vieweg & Teubner, 2012. ISBN 9783834817099.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kysela, Ph.D.**
Katedra informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Jan Panuš, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Využitelnost a efektivita 5G a mobilního internetu jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 6. 4. 2021

Luboš Dvořák

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu, panu Ing. Jířímu Kyselovi Ph.D., za poskytnutou podporu, včasné reakce na mé zprávy a veškerý vynaložený čas.

ANOTACE

Tato práce se zabývá mobilním internetem, zejména 5G sítí, jeho využitelností, efektivitou, zmapováním současného stavu a řešením problému využitelnosti pro podnikové aktivity. V práci budou zahrnuty všechny v ČR dostupné mobilní datové technologie. Dále se práce zabývá konkrétním nasazením mobilního internetu ve zvoleném podniku a jeho analýzou s přínosy a nedostatky. Dalším cílem je realizace webové aplikace, která vyhodnotí nejvhodnějšího poskytovatele a tarif na základě zadaných parametrů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mobilní internet, efektivita, 5G, datové technologie, GPRS, EDGE, CDMA, UMTS, HSPA, LTE

TITLE

Usability and Efficiency of 5G Mobile Internet

ANNOTATION

This thesis is dealing with mobile internet, especially 5G network, it's usability, efficiency, mapping current state and resolving problems with usability for company activities. It includes all mobile technologies which are available in the Czech Republic. This thesis will also be comparing the pros and cons of the different mobile internet companies usage availability in the Czech Republic. The second objective of this thesis is to compare the most convenient provider and to provide a cost analysis based on the specific parameters of the user.

KEYWORDS

Mobile internet, efficiency, 5G, data technology, GPRS, EDGE, CDMA, UMTS, HSPA, LTE

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam zkratk	11
Úvod	12
1 Mobilní síťové technologie	13
1.1.1 Mobilní síťové technologie	13
1.1.2 GSM	13
1.1.3 GPRS	14
1.1.4 EDGE	15
1.1.5 CDMA	16
1.1.6 UMTS	16
1.1.7 HSPA	17
1.1.8 LTE	18
1.1.9 5G	19
1.2 Pojmy	21
1.2.1 Latence	21
1.2.2 Handover	21
1.2.3 Downlink	21
1.2.4 Uplink	21
1.2.5 Jitter	21
2 Zmapování pokrytí mobilním internetem v ČR	22
2.1 2G	23
2.2 3G	24
2.3 4G	26
2.4 5G	28
2.5 Porovnání se Slovenskem a Německem	29
2.5.1 Slovensko	30
2.5.2 Německo	30
2.6 5G ve světě	31
3 Nasazení mobilního Internetu ve vybraném podniku	32
3.1 Analýza	32
3.2 Vyhodnocení	38
4 Měření rychlosti mobilního internetu v ČR	39
4.1 O2	39
4.2 Vodafone	40
4.3 T-Mobile	41
4.4 Vyhodnocení	43
5 Realizace webové aplikace	44
5.1 Implementace	44
Závěr	47

Použitá literatura	48
---------------------------------	-----------

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Mapa pokrytí 2G, T-Mobile	23
Obrázek 2: Mapa pokrytí 2G, O2	24
Obrázek 3: Mapa pokrytí 2G, Vodafone	24
Obrázek 4: Mapa pokrytí 3G, T-Mobile	25
Obrázek 5: Mapa pokrytí 3G, O2	25
Obrázek 6: Mapa pokrytí 3G, Vodafone	26
Obrázek 7: Mapa pokrytí 4G, T-Mobile	27
Obrázek 8: Mapa pokrytí 4G, O2	27
Obrázek 9: Mapa pokrytí 4G, Vodafone	28
Obrázek 10: Mapa pokrytí 5G, T-Mobile	28
Obrázek 11: Mapa pokrytí 5G, O2	29
Obrázek 12: Mapa pokrytí 5G, Vodafone	29
Obrázek 13: Mapa pokrytí 5G ve světě	31
Obrázek 14: Graf podpory datových služeb v telefonu	32
Obrázek 15: Graf využití datových služeb v telefonu	33
Obrázek 16: Graf poskytovaného objemu datových služeb zaměstnavatelem.....	33
Obrázek 17: Graf dostatečnosti poskytovaného datového objemu.....	34
Obrázek 18: Graf objemu dat v soukromém tarifu	35
Obrázek 19: Graf využívání datových služeb k práci.....	35
Obrázek 20: Graf ušetřeného času díky datovým službám.....	36
Obrázek 21: Graf času stráveného využívání datových služeb	37
Obrázek 22: Graf nejvyšší podporované generace datových služeb v telefonu	37
Obrázek 23: Graf lidí, kteří uvažují o koupi mobilního telefonu s podporou 5G.....	38
Obrázek 24: Databázová struktura.....	44
Obrázek 25: Hlavní stránka aplikace	45
Obrázek 26: Výsledek hledání v aplikaci	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Teoretické maximální rychlosti jednotlivých technologií	13
Tabulka 2: Rychlosti jednotlivých CS	14
Tabulka 3: Rozdíly mezi GPRS a EDGE	15
Tabulka 4: Pokrytí 2G v České republice	23
Tabulka 5: pokrytí 3G v České republice	25
Tabulka 6: Pokrytí 4G v České republice	26
Tabulka 7: Pokrytí jednotlivých pásem ve 4G síti.....	26
Tabulka 8: Pokrytí jednotlivých generací sítí na Slovensku.....	30
Tabulka 9: Pokrytí jednotlivých generací sítí v Německu.....	30
Tabulka 10: Mediány měření, O2	40
Tabulka 11: Mediány měření, Vodafone	41
Tabulka 12: Mediány měření, T-Mobile.....	42

SEZNAM ZKRATEK

GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data GSM Evolution
CDMA	Code Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
HSPA	High Speed Packet Access
LTE	Long Term Evolution
SIM	Subscriber Identity Module
PDF	Portable Document Format
8-PSK	8-Phase Shift Keying
QAM	Quadrature amplitude modulation
TDD	Time Division Duplex
FDD	Frequency Division Duplex
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
EGPRS	Enhanced General Packet Radio Service
BTS	Base Transceiver Station
CS1 – 4	Coding Scheme
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
1xEV	1x Evolution
AMC	Adaptive Modulation and Coding
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
ITU	International Telecommunication Union
S-GW	Serving Gateway
P-GW	Packet Data Network Gateway
CSG	Close Subscriber Group
FUP	Fair User Policy
IoT	Internet of Things
GSM	Groupe Spécial Mobile

ÚVOD

Práce se zabývá zmapováním současného stavu mobilního Internetu, zejména se zaměřením na novou generaci 5G, využitelností a efektivitou. Mobilní internet je v současné době hojně využíván širokou veřejností, ale jeho potenciál není plně využit v oblasti podnikových aktivit. Cílem této práce je navrhnout řešení problémů ve využitelnosti pro podnikové aktivity, konkrétní nasazení mobilního Internetu do společnosti a realizování analýzy s přínosy a nedostatky. Práce bude mapovat všechny technologie, které jsou dostupné v ČR (GPRS, EDGE, CDMA, UMTS, HSPA, LTE atd.), popisovat jejich vlastnosti a na základě tohoto mapování dojde k výběru nejvhodnější technologie, která bude nasazena do již zmiňovaného podniku.

V praktické části proběhne měření kvality poskytovaných služeb (přenosové rychlosti a latenci) u poskytovaných služeb základních třech operátorů v ČR (O2, T-Mobile, Vodafone) v několika referenčních místech a analýza a vyhodnocení naměřených výsledků. Také proběhne realizace webové aplikace, která bude vhodná i pro širší veřejnost, která vyhodnotí nejvhodnějšího poskytovatele mobilního Internetu na základě zadaných hodnot (poloha a případné požadavky na rychlost).

Měření rychlosti internetu bude prováděno za pomoci webové stránky rychlost.cz. Backend webové aplikace bude realizován v PHP ve vývojovém prostředí PhpStorm 2020.3.1 Ultimate version aktivovaném studentskou licencí. Frontend bude realizován za využití frameworku Angular 10.0 ve vývojovém prostředí Visual Studio Code 1.55.2. Aplikace testována v prohlížeči Chrome 87.0.4280.141.

1 MOBILNÍ SÍŤOVÉ TECHNOLOGIE

1.1.1 Mobilní síťové technologie

Mobilní síťové technologie umožňují připojení mobilních telefonů do sítě a následně jejich komunikaci s jinými mobilními telefony nebo jinými síťovými prvky. Zde je výčet technologií s jejich uváděnou teoretickou maximální rychlostí. Jakých rychlostí dosahují sítě reálně je popsáno v kapitole měření.

Tabulka 1: Teoretické maximální rychlosti jednotlivých technologií

Technologie	Teoretická maximální rychlost
GPRS	114,0 Kb/s
EDGE	284,0 Kb/s
UMTS	2,0 Mb/s
HSPA	14,0 Mb/s
HSPA+	168,0 Mb/s
LTE	299,6 Mb/s
LTE-A	1,0 Gb/s
5G	10,0 Gb/s

Zdroj: [25]

1.1.2 GSM

GSM neboli globální systém pro mobilní komunikaci je buňková síť umožňující telefonům připojit se pomocí nejbližší buňky, funguje na několika radiových frekvencích. GSM používá digitální technologii 2. generace, v roce 1998 vznikla 3. generace mobilních sítí. Použití GSM zjednodušuje SIM karta, na níž jsou uloženy všechny potřebné informace pro přihlášení uživatele do sítě. [1]

1.1.3 GPRS

GPRS, také označována jako 2,5G, jelikož se jedná o přechod mezi 2G a 3G technologiemi, je služba, která umožňuje přenos dat. GPRS je založeno na kódovacích schématech CS1–CS4, původně byla využívána pouze schémata CS1 a CS2, protože CS3 a CS4 byla příliš nákladná, dnes jsou již využívána všechna schémata. Rozdíl v kódovacích schématech je v rychlosti, zatímco CS1 poskytuje rychlost 9,05 Kb/s na rámeček, CS4 poskytuje až 21,4 Kb/s na rámeček. [2]

Časové rámce jsou přenosové kanály, přes které jsou přenášena data. Rychlost je přímo úměrná rámcům, když se zvýší provoz na síti, zvýší se i počet použitých rámců až na maximálních 8. Mobilní operátoři obvykle poskytují 4 rámce pro jednoho uživatele, pokud se zvýší provoz v síti, sníží se počet rámců pro jednoho uživatele, aby síť mohlo využívat více uživatelů najednou. Rámce jsou přidělovány dynamicky, což znamená, že ve větším shluku lidí bude přenosová rychlost pomalejší. Také to obecně znamená, že v noci bude přenosová rychlost vyšší a ve dne nižší, protože v noci není síť tolik využívána, takže zbyde víc rámců na jednoho uživatele. GPRS využívá TCP/IP protokolu, což znamená, že rámce jsou využívány i dynamicky. Pokud dochází ke stahování, zabere se určitá část sítě s uživateli, kteří také stahují, jakmile se přestane stahovat, uvolní se rámce pro jiné uživatele. To se stává málokdy, většinou je spojení udržováno přes servisní kanál, který nevyužívá žádný datový přenos v tarifových kanálech, takže datová spotřeba je nulová, tudíž se nevyužívá žádný rámeček. [2]

GPRS musí být podporováno mobilem. Na začátku většina mobilů podporovala pouze CS1 a CS2, a ne všechny uměly využít všechny 4 rámce. GPRS definuje celkem 29 tříd, z čehož se hlavně prodávaly mobily třídy 4 a 10. Mobily 4. třídy podporovaly 3 rámce pro download a 1 rámeček pro upload, mobily 10. třídy podporovaly 4 rámce pro download a 2 rámce pro upload. [2]

Většina telefonů nespotřebovává žádná data, pokud neprobíhá žádný datový přenos, spotřeba je jen o pár procent vyšší než v pohotovostním režimu. U nějakých telefonů je ale spotřeba až o 100 % vyšší než v pohotovostním režimu. [2]

Tabulka 2: Rychlosti jednotlivých CS

Kódovací schéma	Cs1	CS2	CS3	CS4
Rychlost (kb/s)	9,05	13,4	15,6	21,4

Max. rychlost (8 rámců) (kb/s)	72,4	107,2	124,8	171,2
--------------------------------------	------	-------	-------	-------

Zdroj: [2]

1.1.4 EDGE

EDGE je vývojový stupeň přenosu dat v GSM, který spadá pod 2G technologie a umožňuje rychlejší přenos dat než GPRS. EDGE dosahuje teoretické rychlosti až 473,6 kb/s. Díky modulaci 8-PSK dokáže EDGE vysílat 3krát více bitů za stejný časový úsek než GPRS. Tím pádem dokáže poskytnout přenosovou rychlost až 59,2 kb/s na rámeček. Jediné, co je potřeba k využití EDGE, je telefon s podporou EDGE. Telefon sám najde nejvyšší možné kódovací schéma EDGE, a když to není možné, přepne se na GPRS. [3]

EDGE je pouze nadstavbou nad GPRS, a tudíž nemůže fungovat samostatně. EGPRS (část implementace EDGE) a GPRS mají jiné protokoly a chování na systémové straně BTS, ale stejné protokoly na síťové straně, tudíž se chovají stejně. Výhodou znovupoužití základní implementace GPRS byla velmi rychlá doba vývoje EDGE. Další věcí, kterou má EDGE navíc, je zvýšená kapacita oproti GPRS. Jeden časový rámeček může využívat najednou více uživatelů. [3]

Tabulka 3: Rozdíly mezi GPRS a EDGE

	GPRS	EDGE
Modulation	GMSK	8-PSK/GMSK
Symbol rate	270 ksym/s	270 ksym/s
Modulation bit rate	270 kb/s	810 kb/s
Radio data rate per time slot	22,8 kb/s	69,2 kb/s
User data rate per time slot	20,0 kb/s	59,2 kb/s
User data rate (8 slots)	160,0 kb/s	473,6 kb/s

Zdroj: [3]

1.1.5 CDMA

CDMA je technologie vyvinutá společností Qualcomm. CDMA se dá rozdělit na tři typy, prvním je DS-CDMA, který se používá v civilních sítích a je na něm založeno WCDMA, což je technologie používaná v UMTS sítích. DS-CDMA ale bohužel nepřineslo nic nového oproti stávajícím GSM sítím. Až s příchodem nového standardu CDMA2000 mohla CDMA síť nabídnout něco více, přenosovou rychlost až 144 kb/s. Další dva typy jsou Fast Frequency Hopping Spread Spectrum a Slow Frequency Hopping Spread Spectrum. Tyto dva typy jsou používány ve speciálních vojenských telekomunikačních sítích. V armádě se používají, protože jsou silně odolné proti rušení. Dokonce i když je signál rušičky silnější než signál v síti, lze stále bez problémů komunikovat. [4]

S příchodem třetí generace přišla technologie nazývaná 1xEV, která přinášela rychlost až 2,457 Mb/s na jeden sektor, jedna základová stanice má až 3 sektory. Tuto rychlost si dělí všichni uživatelé v daném sektoru. Rychlost není rozdělena rovnoměrně, ale podle toho, kolik který uživatel potřebuje. Technologie 1xEV také využívá modulaci 8-PSK, stejně jako EDGE, ale s ní nedokáže dosáhnout své maximální rychlosti. Pro dosažení maximální rychlosti je potřeba využití modulace 16QAM. Tato technologie využívá dvou antén, které dokážou zvýšit rychlost u pomalu se pohybujícího objektu o 30 % a u rychle pohybujícího se objektu až o 90 %. [4]

1.1.6 UMTS

UMTS je jedna z prvních 3G technologií, která sice sama o sobě moc nového nenabízí, je ale předstupněm pro nasazení dalších technologií, které přinášejí větší rychlost. Existují dva typy UMTS: FDD, které je více rozšířené, kde jsou použity odlišné kanály pro downlink a uplink a TDD, kde je kanál pouze jeden a směry se střídají v čase. Struktura UMTS je velmi podobná GSM. Několik BTS je připojeno k jednomu síťovému controlleru a tím vytváří radiovou část sítě. Rozdíl mezi UMTS a GSM je, že GSM většinou pokrývá území celého státu, UMTS ze začátku pokrývalo pouze části státu, většinou větší města. V ostatních částech byl mobilní telefon připojen ke GSM. [5]

Oproti GSM UMTS poskytuje větší kapacitu, protože umí dynamicky měnit velikost buňky a lepší kvalitu hovoru. Pro většinu operátorů ale toto nebyl pádný důvod pro investování do UMTS sítí. Další novinkou, se kterou UMTS přišlo, je videotelefonování. Dosahuje rychlosti 384 kb/s s latencí 200 ms (R4, upravená varianta UMTS) nebo 400–500 ms (R99, první UMTS

standard). UMTS původně slibovalo rychlost až 2 Mb/s, ale ani u standardu R5, který je doplněn o HSDPA R1, se této rychlosti nepodařilo dosáhnout. [5]

1.1.7 HSPA

HSPA je kombinací HSDPA a HSUPA, tedy protokolů pro uplink a downlink. Jako první byl představen protokol HSDPA, což je modernizovaná verze UMTS. Jedná se hlavně o vylepšení na programové úrovni, ke kterému je ale potřeba i vylepšení hardwaru. Oproti UMTS poskytuje HSDPA dvakrát větší kapacitu a až pětkrát vyšší rychlost. Za zvýšením rychlosti stojí 3 hlavní technologie. První je AMC, která zajišťuje obsluhu uživatele, který má nejlepší signál, jako prvního, přičemž tímto zajistí rychlé a efektivní přidělení prostoru. Další je rychlé plánování. Jednotlivé stanice sbírají data od uživatelů a komunikují spolu, aby věděly, jak nejlépe mohou poskytnout data. Poslední je rychlé obnovení přenosu. Když se náhle přeruší přenos, tak se síť snaží co nejrychleji obnovit přenos na nejbližším místě, pokud je to možné. HSDPA garantuje minimální latenci 150 ms, ale při rovnoměrném zatížení sítě je to ve výsledku trochu více. [26]

Jako druhý byl představen protokol HSUPA. Je velice podobný protokolu HSDPA, ale zaměřuje se na uplink. Dokáže dosáhnout rychlosti až 5,76 Mb/s. Nabízí také několik nových funkcí. První z nich je rychlý hybridní automatický opakovaný požadavek. Pokud se při odesílání dat vyskytne nějaká chyba, BTS ihned vyzve k opakování odeslání, což přispívá k celkovému zrychlení přenosu dat. Další je přenos více kódů, který umožňuje uživateli použití až čtyř kódů namísto jednoho, což také zvýší rychlost přenosu dat. HSDPA také využívá více antén u vysílače a přijímače, výsledná rychlost roste lineárně s počtem použitých antén. V maximálním vybavení je možné dosáhnout rychlosti až 100 Mb/s pro downlink a 50 Mb/s pro uplink. Ve výsledku je ale samozřejmě rychlost o mnoho nižší, protože se dělí mezi více uživatelů. [6] [27]

Další vývojový stupeň HSPA představuje HSPA+. HSPA+ používá kódování 64QAM, což umožňuje zvýšení rychlosti HSDPA z 14,4 Mbit/s na 21 Mbit/s a u HSUPA až na 12 Mbit/s. Další novinkou HSPA+ je využití MIMO. Technologie spočívá ve využití více antén jak na straně uživatele, tak na straně BTS. Více antén komunikuje navzájem najednou v jednom frekvenčním kanále. S pomocí MIMO se rychlost jak u HSDPA, tak u HSUPA zvýší hned několikanásobně. [28]

1.1.8 LTE

LTE navazuje na 3G síť a poskytuje větší rychlost a nižší latenci. Ve výsledku dosahuje teoretické rychlosti až 172,8 Mb/s pro downlink a 57,6 Mb/s pro uplink. LTE běží na více frekvencích, ale čeští operátoři podporují hlavně frekvence 800, 900 a 1800 MHz. Pokud telefon nemá podporu jedné z této frekvencí, tak na ní bude místo LTE běžet 3G síť a EDGE. LTE samo o sobě není síť 4. generace, protože nesplňuje podmínky ITU. Za čtvrtou generaci se dá považovat až LTE-Advanced, které, hlavně v ČR, bylo představeno až o pár let déle. [7]

Architektura sítě LTE je založena na GSM a UMTS. Základové stanice se nyní nazývají eNodeB, písmeno „e“ znamená evolved. Síť má tři hlavní prvky. Prvním je brána S-GW, která zajišťuje přenos paketů a stará se o aktivity okolo poplatků a roamingu. Dalším prvkem je MME, které řídí signalizaci mezi uživatelem a jádrem sítě, také se stará o autentifikaci a autorizaci uživatelů a celkovou bezpečnost sítě. Poslední je P-GW, které má na starosti kvalitu služeb a řízení toku dat, filtrování paketů nebo garance přenosové rychlosti. [29]

LTE také představil nový koncept femtobuňky, což je nízkonákladová základnová stanice připojená na páteřní síť kabelem. Femtobuňky se většinou využívají v domech nebo kancelářích, protože normální přenos z eNodeB má uvnitř budov velice sníženou kvalitu. Oproti eNodeB mají samozřejmě o hodně nižší výkon, proto pokryjí pouze desítky metrů čtverečních. Femtobuňky mají tři úrovně přístupu: [29]

Otevřený přístup: Všichni uživatelé v rámci pokrytí se mohou připojit, kapacita je rozdělena mezi všechny uživatele rovnoměrně. [29]

Uzavřený přístup: Femtobuňka obsahuje seznam CSG, který definuje uživatele, kteří se k této femtobuňce mohou připojit. V seznamu je většinou 4 až 8 uživatelů, proto uzavřený přístup poskytuje pro každého uživatele větší kapacitu, tudíž lepší kvalitu služeb. [29]

Hybridní přístup: Kombinace dvou výše zmíněných přístupů. Část přenosové kapacity je dostupná pouze pro uživatele v CSG a zbytek kapacity je dostupný i uživatelům, kteří v CSG nejsou. [29]

LTE-Advanced je vyšším vývojovým stupněm LTE, který byl představen o pár let déle. Největším rozdílem je větší přenosová rychlost. U LTE-Advanced je teoretická maximální rychlost až 1 Gb/s. Hlavní novou funkcí u LTE-Advanced je agregace nositele, což znamená spojení dvou pásem pro zvýšení rychlosti. [30]

1.1.9 5G

Ačkoliv se může zdát, že LTE poskytuje dostačující rychlost, již narážíme na její limity. Narůstající počet zařízení vyžadujících připojení do sítě a přenos masivních objemů dat v reálném čase vyžaduje něco víc než jen LTE. Toto přináší 5G neboli síť páté generace. Standardní průměrná rychlost stahování je okolo 1 Gb/s, do budoucna se bude navyšovat na desítky až stovky Gb/s. 5G ve světě odstartovalo v roce 2018 v Severní Americe, do Evropy se dostalo v roce 2019. V Česku je zatím pokrytí velice malé, v řádech jednotek procent. [8]

5G se vlastně dá rozdělit na 2 sítě. Jedna nízkofrekvenční, která využívá frekvence pod 6 GHz a druhá vysokofrekvenční, která využívá frekvence nad 6 GHz. Nízkofrekvenční sítě budou využívat již stávající infrastrukturu pro 4G, která jen projde modernizací a budou využívat 100 MHz kanály. Rychlost oproti LTE by měla vzrůst až o 50 %. Vysokofrekvenční síť bude v Evropě využívat frekvencí 24,25 až 27,5 GHz. Tyto frekvence jsou jen málo využívané a nejsou vůbec využívané v uživatelských přístrojích, protože neexistoval dostatečný výpočetní výkon a dostatečně malé antény. Díky tomu, že jsou skoro nevyužívané, je možné nasadit 400 MHz kanály s dvojitou agregací, tyto umožní teoretickou přenosovou rychlost až 20 Gb/s a snížení latenci pod 1 ms. Jsou nevhodné pro pokrývání velkých oblastí, protože mají omezený dosah a špatně procházejí budovami. Podobně jak LTE zavedlo femtobuňky, 5G zavede mikrobuňky, které budou ještě menší, méně nákladnější a budou hustěji rozmístěny, což vyřeší problém s menším dosahem a malou průchodností. U hustého rozmístění mikrobuněk nastává problém vzájemného rušení signálu, buňky totiž budou přijímat i vysílat mnohonásobně víc jednotlivých signálů. Zde přichází na scénu tzv. beamforming, neboli tvarování radiových paprsků, které bude zajištěno pomocí desítek malých antén a přijímačů v zařízení, které zformují a nasměrují paprsek tak, aby se vyhnul rušení. Toto směřování se bude měnit v čase tak, aby se přístroje daly využít i za pohybu. [31]

Potřeba hustého rozmístění mikrobuněk pro účinné pokrytí limituje jejich použití na velkoměsta. Není možné, aby mikrobuňky byly úplně všude. Ze začátku jimi budou pokryta hlavně velkoměsta a později budou nejspíše rozmístěny kolem silnic, aby je mohly využívat autonomní vozy. Zbytek světa se bude muset spokojit s nízkofrekvenční 5G sítí. [31]

Možnosti 5G sítí ale sahají daleko za mobilní internet. Zrychlení mobilního internetu je jen přidaná hodnota. Vyšší přenosová rychlost, ale hlavně nižší odezva, umožní rozvoj a využití nových technologií. [31]

Autonomní vozy

Větší kapacita sítě a nižší latence umožní používání autonomních vozů, které budou moci komunikovat s okolím a s ostatními autonomními systémy. Budou moci řešit reálné situace v čase a skoro nebudou poznamenány latencí, která například při řešení krizových situací hraje největší roli v komunikaci. Vozy se nebudou muset omezovat pouze na své senzory a budou moci komunikovat i se vzdálenými autonomními systémy. [31]

Internet věcí

Internet věcí a chytrá domácnost už existuje a její části jsou často využívány. Jsou ale velice limitovány, protože komunikace uvnitř těchto systémů je založena na komunikaci přes Wi-Fi. U chytré domácnosti to není takový problém za předpokladu, že dokážeme pokrýt celý dům Wi-Fi signálem. Problém ale nastává u pokrytí u větších městských částí, kde je celkové pokrytí Wi-Fi takřka nereálné. 5G síť poskytne jednotnou službu pokrytí pro celé městské části i města. [31]

Pevný internet

Se zavedením 5G sítí bude dostupnější i pevný internet. Stejně jako někteří poskytovatelé již nabízejí domácí LTE, ale většinou je omezený objemem přenesených dat a kapacita 4G sítě není dostatečná na připojení více domácností. 5G síť již kapacitu mít bude a místo zavedení kabelů až do jednotlivých domácností bude přístupná přes modem, který se napojí na nejbližší mikroubňku. Tímto i poskytovatelé ušetří za poskytování domácího internetu, který bude v určitých místech rychlostně převyšovat i kabelový internet. [31]

Virtuální realita, zábava a výpočetní výkon

Vysoká přenosová rychlost 5G sítí bude znamenat přesun úložišť do cloudu. Bude možné například streamovat virtuální realitu nebo 360° videa. V blízké budoucnosti budou také možné holografické telefonáty. S vysokou přenosovou rychlostí a nízkou latencí bude také možnost přenosu výpočetního výkonu z výpočetních center do jednotlivých uživatelských zařízení, a tudíž odpadne potřeba výkonného hardwaru. [31]

Zdravotní rizika

Se zaváděním 5G sítě se na internetu objevily zprávy o jeho škodlivosti na lidské zdraví. Pravdou je, že škodlivost 5G sítě není moc prozkoumaná. Nicméně výzkum vědců z Oregon State University prováděný na dáníu pruhovaném, jehož genomická úroveň je velmi podobná lidské, nezaznamenal žádné významné dopady na mortalitu ani na reakci embryí na světlo. Mírná změna byla zaznamenána u reakce na zvuky. Za dodržení hygienou stanovených

podmínek by 5G síť měla být neškodná. Konspirační teorie o škodlivosti 5G sítí byly označeny za „fake news“. [32]

1.2 Pojmy

Zde jsou popsány základní pojmy nutné k porozumění fungování mobilních sítí.

1.2.1 Latence

Latence je zpoždění mezi požadavkem a chvílí, kdy byl tento požadavek zpracován.

1.2.2 Handover

Handover znamená předání hovoru. Dochází k němu při přechodu mezi buňkami nebo při přechodu mezi jednotlivými sítěmi. Může probíhat v rámci jedné buňky. [33]

1.2.3 Downlink

Přenos dat směrem k uživateli. Příklad: stažení souboru.

1.2.4 Uplink

Přenos dat směrem od uživatele. Příklad: nahrání souboru na web.

1.2.5 Jitter

Kolísání velikosti latence.

2 ZMAPOVÁNÍ POKRYTÍ MOBILNÍM INTERNETEM V ČR

Mimo nejnovější čtvrtou a pátou generaci v České republice stále funguje i druhá a třetí generace, ale nebude tomu tak dlouho. V letošním roce čeští mobilní operátoři plánují vypnout 3G síť. Důvod je zastaralost (UMTS bylo představeno před dvaceti lety, v České republice od roku 2004) a malá rychlost. Frekvence, na kterých běží 3G, se uvolní pro LTE a 5G síť. 2G síť nadále zůstane v provozu hlavně pro hlasové a textové služby. [9]

Nyní bude následovat přehled pokrytí u jednotlivých generací mobilních sítí u jednotlivých mobilních operátorů v České republice. Data jsou převzata z Českého telekomunikačního úřadu, který poskytuje interaktivní mapu pokrytí pro 3G a 4G sítě v jednotlivých pásmech a vypočítané procentuální pokrytí plochy a procentuální pokrytí obyvatel v České republice. Mapy pro 2G a 5G zde bohužel nejsou, mapy budou čerpány přímo ze stránek jednotlivých operátorů. Z map bude následně vypočítáno pokrytí území. Pokrytí všemi technologiemi v České republice bude následně porovnáno s pokrytím v Německu a na Slovensku u stejných operátorů a vyhodnoceno, jak si naše republika stojí s pokrytím vzhledem k ostatním státům.

Pokrytí na mapách dostupných z českého telekomunikačního úřadu není zaneseno do čtvercové sítě 100x100m, ale po výpočtu na jemném rastru je aproximováno do hladkého průběhu. [10]

Pokrytí 2G v České republice a pokrytí v Německu a na Slovensku bude vypočítáno za použití programu, který spočítá celkový počet vybarvených pixelů v mapě a tento počet bude vydělen celkovým počtem pixelů v mapě, čímž získáme přibližné procentuální pokrytí. Mapy pocházejí z oficiálních webů poskytovatelů a jsou vystřiženy kolem hranic bez pozadí. Program pochází z bakalářské práce Michala Černoty „Využití a efektivita mobilních sítí“ z roku 2019. Kód byl upraven pro mé potřeby a byl změněn barevný rozsah pro výpočet u jednotlivých map, aby odpovídal barvám, které jsou na mapách jednotlivých poskytovatelů. Výsledky je třeba brát s rezervou, protože program bohužel neumí počítat s textem, názvy měst, obcí a na některých mapách také s názvy národních parků, ale pro hrubou představu by měly být dostačující. [40]

Česká republika patří světově ke špičkám v pokrytí 2G a 4G sítí. Toto je bohužel vykoupeno vyššími cenami datových tarifů. Zatímco v České republice jsou pokryta i místa s menší či žádnou hustotou obyvatel, větší státy se soustředí hlavně na pokrývání městských oblastí, větších měst a míst s velkou hustotou obyvatel. Problémy tudíž nastávají hned po opuštění většího města, což může být velký problém, pokud se řidiči spoléhají na online navigaci ve svých chytrých telefonech. Toto platí hlavně pro pokrytí LTE. Jinak je Evropa na velmi slušné světové úrovni. Na druhou stranu v pokrytí 5G sítí Česká republika velice zaostává za západní

Evropou, většinou států Spojených Států Amerických, Thajskem, Jižní Koreou a Japonskem.

[11] [12]

2.1 2G

Pokrytí 2G v České republice je velice dobré u všech operátorů. U všech operátorů dosahuje těsně pod hranici 100 %. Nejlépe je na tom T-Mobile se zhruba 99,7 %, následuje O2 s 99 % a nejhůře je na tom Vodafone, který trochu zaostává s 95,8 %.

Tabulka 4: Pokrytí 2G v České republice

Operátor	Pokrytí
T-Mobile	99,7 %
O2	99,0 %
Vodafone	95,7 %

Zdroj: [13] [14] [15]



Obrázek 1: Mapa pokrytí 2G, T-Mobile

Zdroj: [15]



Obrázek 2: Mapa pokrytí 2G, O2

Zdroj: [14]



Obrázek 3: Mapa pokrytí 2G, Vodafone

Zdroj: [13]

2.2 3G

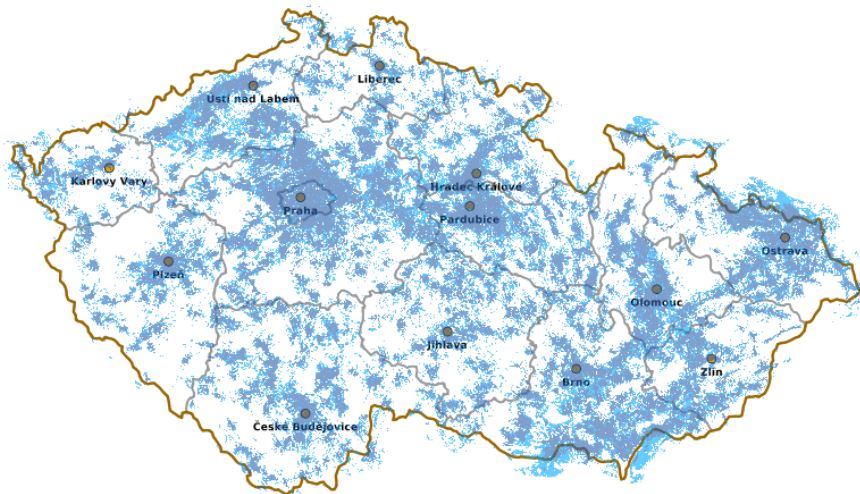
Pokrytí 3G sítí je v České republice na velmi špatné úrovni. Operátoři se soustředili hlavně na pokrytí větších měst, tudíž pokrytí obyvatelstva není tak špatné, ale pokrytí plochy České republiky je nedostačující. Operátoři ukončili financování 3G již v roce 2013, protože veškeré budoucí investice chtěli směřovat do rozvoje 4G sítí. [16]

U 3G sítí je na tom nejlépe T-Mobile se 40,3 % pokrytí území a 82,4 % pokrytí obyvatel. Těsně za ním následuje O2 s 39,5 % pokrytí území a 80,8 % pokrytí obyvatel. Nejhůře je na tom Vodafone s 19,3 % pokrytí území a 67,1 % pokrytí obyvatel.

Tabulka 5: pokrytí 3G v České republice

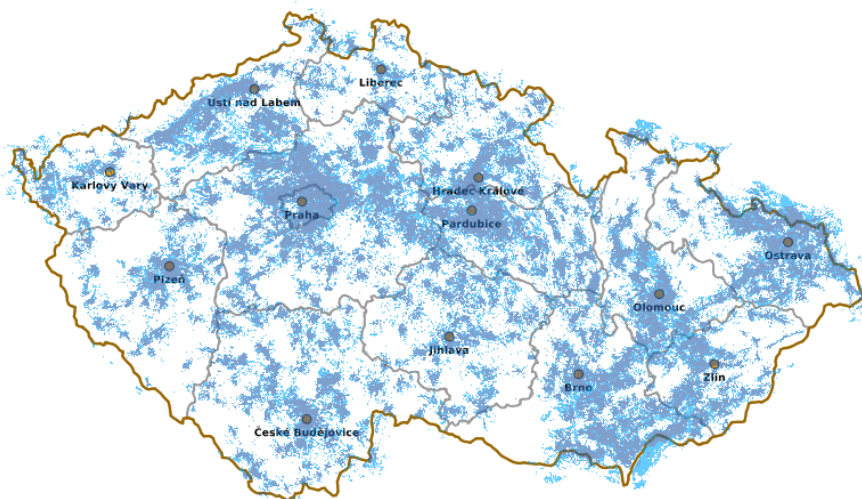
Operátor	Pokrytí území	Pokrytí obyvatel
T-Mobile	40,3 %	82,4 %
O2	39,5 %	80,8 %
Vodafone	19,3 %	67,1 %

Zdroj: [17]



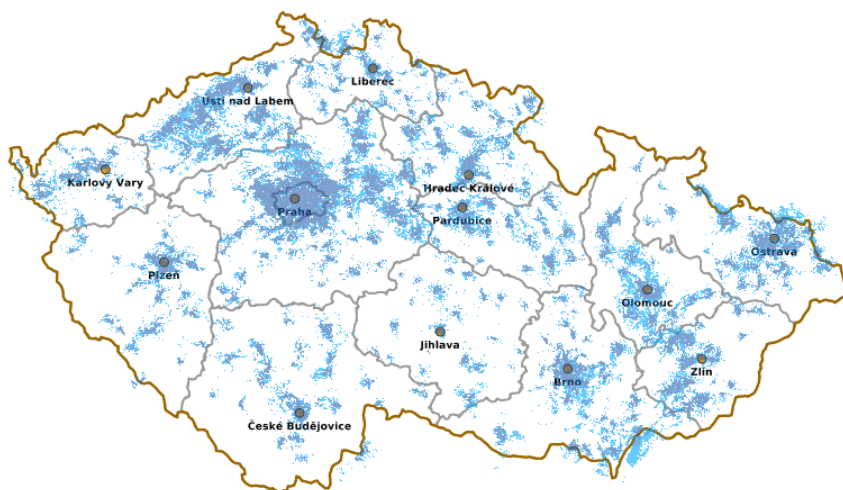
Obrázek 4: Mapa pokrytí 3G, T-Mobile

Zdroj: [17]



Obrázek 5: Mapa pokrytí 3G, O2

Zdroj: [17]



Obrázek 6: Mapa pokrytí 3G, Vodafone

Zdroj: [17]

2.3 4G

Jak jsem již zmiňoval na začátku této kapitoly, Česká republika patří ke světovým špičkám v pokrytí LTE sítí. Celkové pokrytí ve všech pásmech LTE se blíží 100 %. Největší pokrytí je v pásmu 800 MHz, ve kterém se všichni tři operátoři blíží 100 %. V pásmu 1800 MHz je to pak okolo 50 % pokrytí území a okolo 80 % pokrytí obyvatel. V pásmu 2100 MHz má O2 skoro nulové pokrytí, zatímco T-Mobile a Vodafone pokrývají přes 20 % území a 49 % a 73 % obyvatel. V pásmech 2600 MHz FDD a 2600 MHz TDD je pak pokrytí prakticky nulové u všech operátorů.

Tabulka 6: Pokrytí 4G v České republice

Operátor	Pokrytí území	Pokrytí obyvatel
T-Mobile	95,8 %	99,8 %
O2	95,7 %	99,8 %
Vodafone	94,1 %	99,6 %

Zdroj: [17]

Tabulka 7: Pokrytí jednotlivých pásem ve 4G síti

Operátor	800 úz.	800 ob.	1800 úz.	1800 ob.	2100 úz.	2100 ob.

T-Mobile	94,0 %	99,6 %	39,3 %	71,0 %	27,8 %	73,1 %
O2	95,6 %	99,7 %	53,9 %	80,0 %	1,0 %	5,5 %
Vodafone	94,0 %	99,6 %	39,3 %	71,0 %	27,8 %	73,1 %

Zdroj: [17]



Obrázek 7: Mapa pokrytí 4G, T-Mobile

Zdroj: [17]



Obrázek 8: Mapa pokrytí 4G, O2

Zdroj: [17]



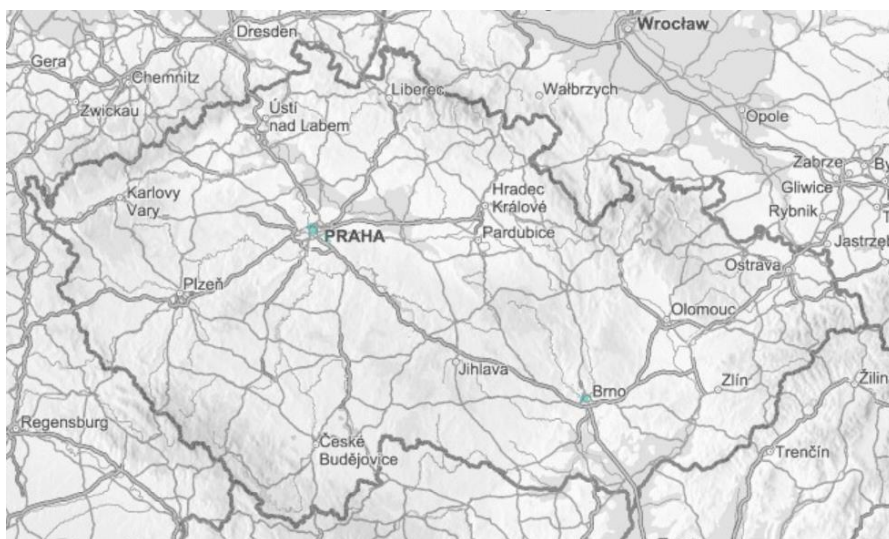
Obrázek 9: Mapa pokrytí 4G, Vodafone

Zdroj: [17]

2.4 5G

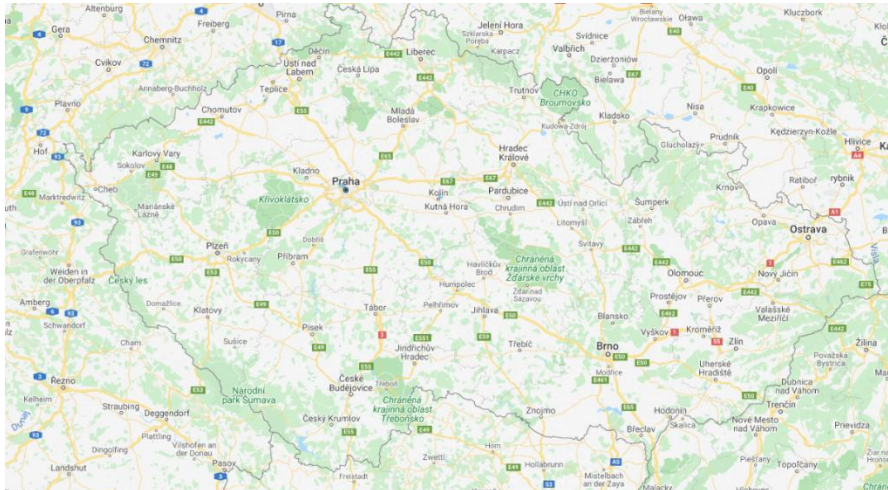
V pokrytí 5G sítí je na tom Česká republika zatím velmi žalostně. Operátoři začali v roce 2019 testovat 5G a od té doby se ji snaží postupně rozšiřovat. Největší rozmach by měl přijít na přelomu let 2021 a 2022. Plnohodnotnou komerční sítí by se 5G v České republice mohlo stát v roce 2023. Do té doby zatím musíme vydržet u 4G. Největší pokrytí má Vodafone, který dosáhl pár % a pokryl už přes 130 měst v České republice. O2 a T-Mobile jsou na tom o hodně hůře, zatím pokrývají zhruba 1 % republiky. U O2 je 5G dostupné v Plzni, Praze, Kolíně a Bílině. U T-Mobile je možné se připojit k 5G síti pouze v částech Brna a Prahy. U všech tří operátorů je možné se k 5G síti připojit také asi ve zhruba třiceti stanicích pražského metra.

[18]



Obrázek 10: Mapa pokrytí 5G, T-Mobile

Zdroj: [15]



Obrázek 11: Mapa pokrytí 5G, O2

Zdroj: [14]



Obrázek 12: Mapa pokrytí 5G, Vodafone

Zdroj: [13]

2.5 Porovnání se Slovenskem a Německem

Vzhledem k porovnání si autor vybral Německo a Slovensko, jelikož mají stejné operátory jako v České republice (kromě Orange na Slovensku), sousedí s Českou republikou a nachází se ve střední Evropě. Německo bude v porovnání sloužit jako bohatší země s větší tržní silou, než má Česká republika a Slovensko jako rovnocenný východní stát.

2.5.1 Slovensko

V porovnání se Slovenskem si stojíme o něco lépe. U 2G sítí je to skoro podobné, Slovensko má pouze o pár procent méně. U 3G sítí si Slovensko stojí o pár procent lépe, ale v případě 4G sítí si zase Česká republika stojí lépe, a to až o 20 %. U Slovenska je to z velké části způsobeno Velkými tatrami, Malými tatrami a Chráněnou krajinnou oblastí Štiavnické vrchy, kde není pokrytí ani jedné ze sítí ani jedním operátorem. 5G síť nabízí zatím pouze T-Mobile, a to s asi 1 % pokrytí v části Bratislavy. Ostatní operátoři zatím 5G nenabízí, ale měla by být jen otázka času, kdy i ostatní operátoři začnou nabízet 5G a pokrytí se bude rozšiřovat podobně jako v České republice.

Tabulka 8: Pokrytí jednotlivých generací sítí na Slovensku

Operátor	2G	3G	4G	5G
T-Mobile	94,1 %	68,4 %	80,8 %	~1 %
O2	92,0 %	65,8 %	86,3 %	Neposkytuje
Orange	87,6 %	72,9 %	78,2 %	Neposkytuje

Zdroj: [19] [20] [21]

2.5.2 Německo

Německo je na tom o poznání lépe než Česká republika. 2G sítí je pokryto těsně pod 100 % území, takže skoro stejně jako v České republice, ale u 3G sítě je propastný rozdíl. Rozdíl v pokrytí 3G sítí je až 70 %. U 4G sítí je na tom velmi podobně jako Česká republika, rozdíl je pouze v desetínách až jednotkách procent. U 5G sítě je rozdíl opět velký. Bohužel procentuální pokrytí 5G sítí se mi na internetu nepodařilo dohledat, Vodafone poskytuje velice špatnou mapu, ze které se ani pomocí programu nedá pokrytí vypočítat, O2 mapu vůbec neposkytuje, pouze T-Mobile poskytuje mapu pokrytí, proto bohužel nemohu uvést procentuální pokrytí 5G sítí v Německu. O2 poskytuje už vypočítané přibližné pokrytí u 2G, 3G a 4G. Lepší pokrytí v Německu je způsobeno větší tržní silou, vyspělostí a rychlejší reakcí na 5G technologii.

Tabulka 9: Pokrytí jednotlivých generací sítí v Německu

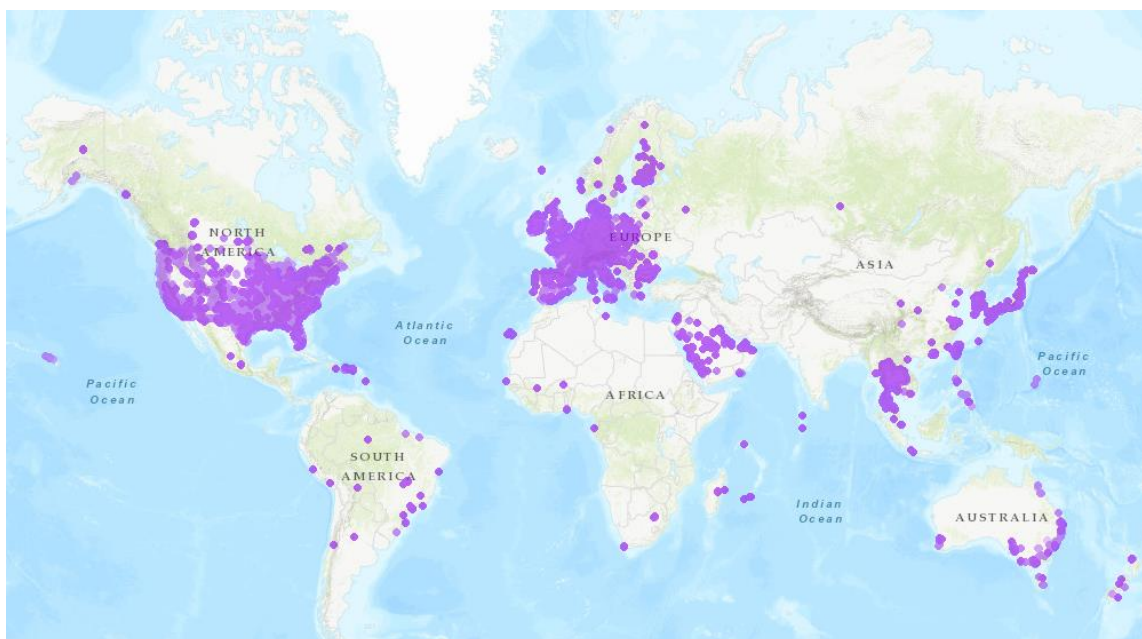
Operátor	2G	3G	4G	5G
----------	----	----	----	----

T-Mobile	99,3 %	90,9 %	97,3 %	76,7 %
O2	Pod 100 %	Přes 90 %	95,0 %	Chybí data
Vodafone	98,8 %	81,0 %	96,5 %	Chybí data

Zdroj: [22] [23] [24]

2.6 5G ve světě

Technologie 5G se stále ještě rozjíždí, je sice dostupná už v hodně státech, ale často jen v hlavním městě nebo jen na pár místech. Je tu ovšem pár výjimek, které jsou zcela nebo alespoň z většiny pokryty 5G sítí. Jedná se o skoro celé Spojené Státy Americké, hlavně západní a východní pobřeží a skoro celý východ Ameriky. Jediné státy s minimálním pokrytím jsou Montana, Wyoming, Severní Dakota, Jižní Dakota a Nebraska. V Evropě je potom hodně pokryta Francie, Irsko, Anglie, Holandsko, Německo, Rakousko, Švýcarsko a Dánsko. V Asii je nejvíce pokryto Thajsko, Taiwan, Hong Kong, Jižní Korea a Japonsko.



Obrázek 13: Mapa pokrytí 5G ve světě

Zdroj: [12]

3 NASAZENÍ MOBILNÍHO INTERNETU VE VYBRANÉM PODNIKU

Využívání mobilního internetu v podnicích je v dnešní době více než žádoucí, ale může s sebou nést určitá úskalí. Data jsou sice v České republice velice drahá, ale všichni operátoři nabízejí pro podniky speciální tarify, které jsou výhodnější. Poskytnutí mobilního internetu zaměstnancům v podniku může přinést velkou úsporu času. Zaměstnanci mohou využívat internet i mimo zaměstnání a tím být více dostupní pro rychlejší řešení problémů a odpovídání na maily. Při využití mobilní VPN se zaměstnanec může připojit do firemního systému i mimo zaměstnání a mimo domov.

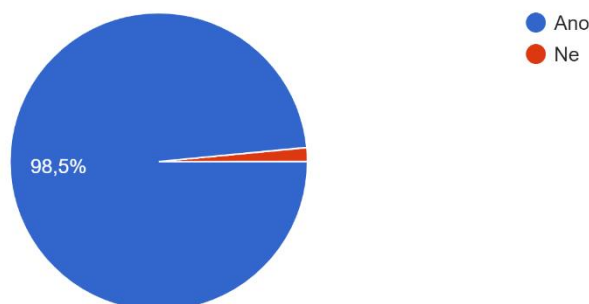
3.1 Analýza

Analýza byla provedena formou anonymního dotazníku na Google forms ve dvou firmách a pár nezávislých objektech pro různorodější vzorek odpovědí. První firmou je GIST s.r.o., jejíž specializací je controlling, bussines intelligence a vývoj softwaru. Druhou firmou je Enteria – Český stavební holding Enteria a.s. zaměřující se na různé oblasti stavebnictví. V dotazníku odpovídalo celkově 66 respondentů. Otázky v dotazníku byly směřovány na využití mobilního internetu, poskytování mobilního internetu v tarifu zaměstnavatelem a podporu různých mobilních technologií v telefonech.

Odpovědi na první dvě otázky se v dnešní době daly očekávat, pouze jeden respondent nemá mobilní telefon s podporou datových služeb a pouze dva respondenti nevyužívají datové služby na svém mobilním telefonu.

Máte mobilní telefon s podporou datových služeb?

66 odpovědí

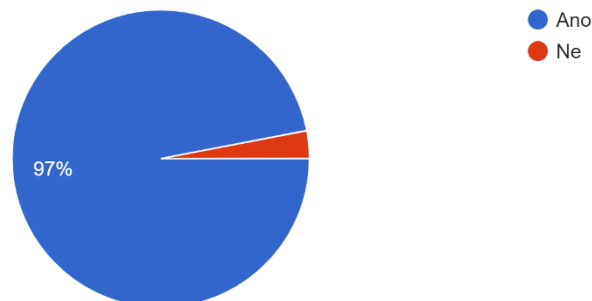


Obrázek 14: Graf podpory datových služeb v telefonu

Zdroj: Vlastní

Využíváte datové služby na svém mobilním telefonu?

66 odpovědí



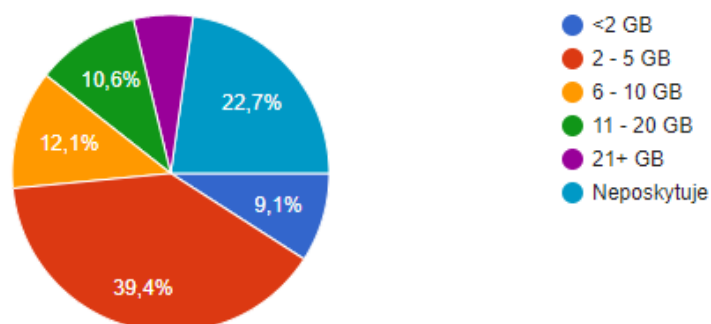
Obrázek 15: Graf využití datových služeb v telefonu

Zdroj: Vlastní

Pouze 15 respondentů uvádí, že jim jejich zaměstnavatel neposkytuje tarif s datovými službami. Nejvíce poskytovaným rozmezím dat je 2–5 GB, tuto skutečnost uvedlo 26 respondentů. Dále 45 respondentů uvádí, že jim stačí objem dat poskytovaný zaměstnavatelem a pouze 6 respondentů by potřebovalo větší datový objem.

Poskytuje Vám váš zaměstnavatel tarif s datovými službami? Pokud ano, uveďte prosím, jak velký objem dat Vám poskytuje.

66 odpovědí

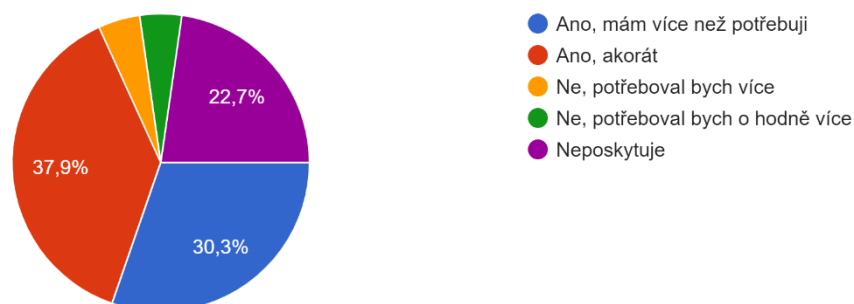


Obrázek 16: Graf poskytovaného objemu datových služeb zaměstnavatelem

Zdroj: Vlastní

Stačí Vám objem dat poskytovaný vaším zaměstnavatelem?

66 odpovědí



Obrázek 17: Graf dostatečnosti poskytovaného datového objemu

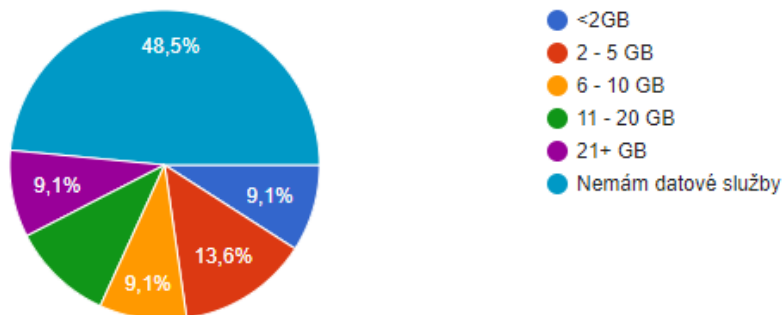
Zdroj: Vlastní

Podle jednotlivých odpovědí v souvislostech je vidět, že všichni, kdo mají 21 a více Gb, mají více než potřebují. U rozmezí 11–20 Gb polovina respondentů odpověděla, že mají více než potřebují a druhá polovina, že mají akorát. Stejně odpovědi byli u rozmezí 6–10 Gb. V rozmezí 2–5 Gb by už 4 respondenti potřebovali více dat. Naprosté většině respondentů však data stačí akorát nebo mají více než potřebují. V případě možnosti méně než 2 Gb pak většině respondentů také tento objem vyhovuje, ale někteří by potřebovali více. Z těchto výsledků by autor usoudil, že nejvýhodnější pro firmu i zaměstnance by bylo nabízet ve firmě kolem 5 Gb dat s možností zdůvodnit větší spotřebu a navýšení až na 10 Gb dat nebo s možností navýšení dat na přání zaměstnance s podmínkou doplacení tarifu o navýšená data.

Více než polovině respondentů stačí objem dat od svého zaměstnavatele jak na pracovní, tak i na soukromé věci a nedokupují si soukromá data. Respondenti, kteří si dokupují soukromá data, si většinou dokupují 6–10 Gb nebo 11–20 Gb a od zaměstnavatele mají většinou méně než 2 Gb nebo 2–5 Gb. Respondenti, kterým zaměstnavatel neposkytuje žádný datový tarif, si nejvíce dokupují 2–5 Gb nebo 21 a více Gb.

Platíte si soukromý tarif s datovými službami? Pokud ano, uveďte prosím, jak velký objem dat máte ve svém tarifu.

66 odpovědí



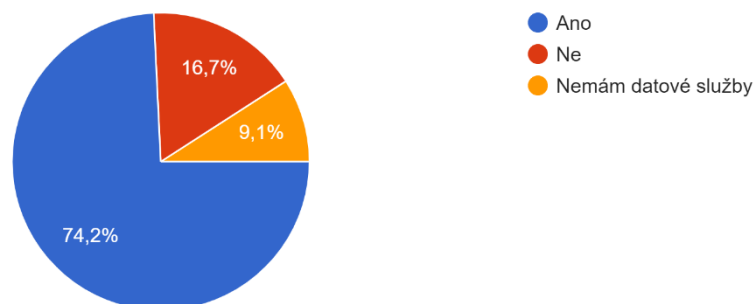
Obrázek 18: Graf objemu dat v soukromém tarifu

Zdroj: Vlastní

Celkem 49 respondentů využívá své datové služby k práci. Nejvíce respondentů, 39, využívá internet v mobilu hlavně k přístupu do e-mailové schránky. Na druhém místě s 22 respondenty pro využití internetu pro práci je využití pro hotspot, kde není dostupné připojení přes kabel nebo Wi-Fi síť. Hotspot také často lidé využívají při práci z domu. Mezi dalšími odpověďmi se hodně objevují videokonference a meetingy. Pokud firma nabízí i mobilní VPN, tak hodně respondentů využívá mobilní internet přímo pro samotnou práci, jako je vyhledávání ve firemní databázi, práce s firemními aplikacemi, přístup do informačního systému a případně připojení k FTP serverům.

Pokud máte datové služby, využíváte je k práci?

66 odpovědí

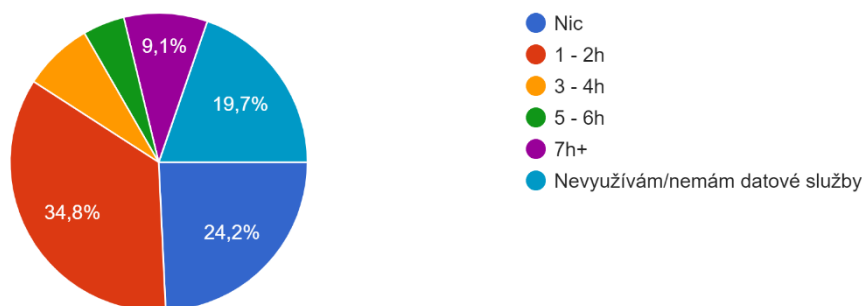


Obrázek 19: Graf využívání datových služeb k práci

Zdroj: Vlastní

Pouze 13 respondentů nevyužívá datové služby k práci, 16 respondentů sice využívá mobilní internet k práci, ale neušetří tím ani hodinu týdně. Nejvíce respondentů, 23, ušetří alespoň 1–2 hodiny týdně, což se nemusí zdát jako moc, ale ve výsledku je to až jeden pracovní den za měsíc. Dalších 6 respondentů ušetří více než 7 h týdně. Většinou se jedná o respondenty, kteří pracují na vyšších pozicích (jednatelé, ředitelé úseků). Dokonce respondenti, kteří napsali, že jejich zaměstnavatel nenabízí žádné datové služby, uvedli, že používají svůj soukromý datový tarif k práci a ušetří jim to pár hodin týdně. Datové tarify a s nimi ušetřené hodiny týdně hodně korespondují s pozicí. Zatímco IT pracovníci, programátoři a analytici většinou uvedli, že neušetří ani hodinu týdně, ekonomové, právníci a pracovníci v administrativě ušetří 1–2 h týdně. Administrátoři systémů, technici a konzultanti ušetří ještě více času. Nejvíce času ušetří ředitelé, jednatelé, supervizoři a logistici. Pro pozice, které mají v popisu práce stýkat se s lidmi a komunikovat, se datový tarif určitě vyplatí.

Pokud využíváte datové služby k práci, zkuste prosím odhadnout, kolik Vám ušetří času týdně.
66 odpovědí



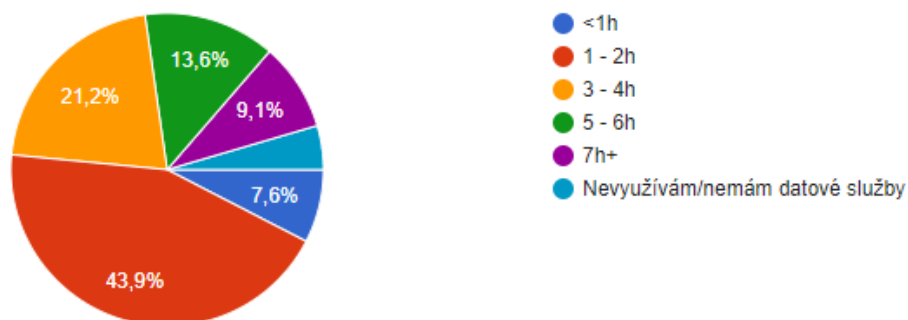
Obrázek 20: Graf ušetřeného času díky datovým službám

Zdroj: Vlastní

To, že se mobilní internet stal nedílnou součástí našeho každodenního života, potvrzuje i tento dotazník. Pouze 3 respondenti nevyužívají datové služby prakticky vůbec a pouze 5 respondentů méně než hodinu denně. Nejvíce respondentů, 29, využívá mobilní internet 1–2 h denně a 14 respondentů 3–4 h denně. 6 respondentů využívá mobilní internet i více než 7 h denně.

Kolik hodin denně využíváte mobilní datové služby? (Pro soukromé i podnikové aktivity)

66 odpovědí



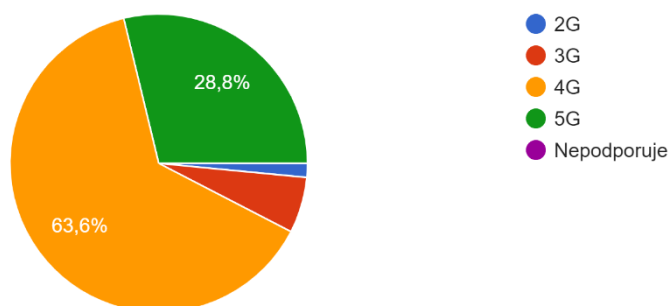
Obrázek 21: Graf času stráveného využívání datových služeb

Zdroj: Vlastní

Rozmach 5G sítí v České republice stále stagnuje a na trhu není moc velký výběr telefonů s podporou 5G sítí, přesto 19 respondentů již vlastní telefon s podporou 5G sítí. Většina respondentů (42) uvedla, že jejich mobilní telefon stále podporuje nejvýše 4G síť. Telefony s nejvyšší podporou 2G a 3G sítí z trhu už vymizely, pouze 5 respondentů uvedlo, že jejich mobilní telefon podporuje maximálně 2G nebo 3G síť. Ze všech respondentů, kteří nemají mobilní telefon s podporou 5G sítě, pouze 9 uvažuje o jeho koupi. Všichni respondenti, kteří uvažují o koupi mobilního telefonu s podporou 5G sítě, očekávají vyšší rychlost. Někteří z nich také očekávají lepší pokrytí než u 4G, větší bezpečnost a menší odezvu.

Jakou nejvyšší generaci datových služeb podporuje Váš mobilní telefon?

66 odpovědí

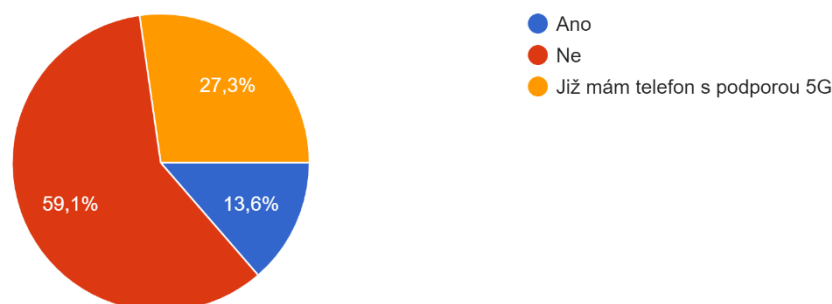


Obrázek 22: Graf nejvyšší podporované generace datových služeb v telefonu

Zdroj: Vlastní

Pokud nemáte telefon s podporou 5G, uvažujete o jeho koupi?

66 odpovědí



Obrázek 23: Graf lidí, kteří uvažují o koupi mobilního telefonu s podporou 5G

Zdroj: Vlastní

3.2 Vyhodnocení

V dnešní době výhody poskytnutí mobilního internetu od zaměstnavatele vysoce převyšují nevýhody. Pokud zaměstnavatel poskytne tarif s objemem alespoň do 2 Gb, zaměstnanci mohou bez problémů celý měsíc s tímto objemem komunikovat přes mail a vyřizovat interní firemní záležitosti. Pokud zaměstnavatel nabídne větší tarif, může být bez problémů využit i pro vytvoření hotspotu pro pracovní notebook, případně pro zúčastnění se nebo vytvoření konference nebo meetingu. Pokud zaměstnavatel nabídne i firemní VPN, může mít zaměstnanec přístup k firemním datům a některým aplikacím nebo programům, i když je mimo zaměstnání a mimo domov. Z dotazníku vyplývá, že většina lidí poskytnutá mobilní data využije a používá je ke své práci. Poskytnutá data mohou sloužit i jako příjemný bonus mimo vyplácenou měsíční částku pro soukromé využití zaměstnance. V dnešní době, kdy je omezená možnost stýkání se s lidmi, se datové tarify vyplatí ještě více

Nevýhody to s sebou nenese skoro žádné. Už ani nerozlišujeme výhody a nevýhody jednotlivých mobilních sítí, protože operátoři většinou nabízejí připojení k nejrychlejší síti ve všech nabízených tarifech. Za jedinou nevýhodu by se dala považovat cena, kterou zaměstnavatel musí zaplatit za každého zaměstnance. Nicméně s různými datovými balíčky pro firmy ta cena není tak vysoká a zaměstnavatel stále platí za ušetření hodin práce jeho zaměstnanců.

4 MĚŘENÍ RYCHLOSTI MOBILNÍHO INTERNETU V ČR

Měření reálné rychlosti u jednotlivých operátorů dostupných v České republice, ve všech dostupných sítích na čtyřech referenčních místech. Praha jako hlavní město, Pardubice jako krajské město, Kolín jako okresní město a Staré Hradiště u Pardubic je vnímáno jako vesnice. V Praze bylo měření prováděno na Václavském náměstí, v Pardubicích na Pernštýnském náměstí, v Kolíně na hlavním vlakovém nádraží a ve Starém Hradišti v centru. Měření byly sítě 2G, 3G (kromě Vodafone, který 3G síť vypnul k 31. 3., aby uvolnil místo pro 5G síť), 4G a 5G, kde byla dostupná. Měření 2G, 3G a 4G sítí bylo prováděno telefonem LG G8s ThinQ 128Gb. Měření 5G sítě bylo prováděno telefonem Motorola Moto G 5G 128Gb. U každé sítě kromě 4G bylo provedeno 10 měření a z nich byl vypočítán výsledek. U 4G sítě bylo provedeno pouze 5 měření kvůli velké spotřebě dat a momentální vysoké ceně dat u všech operátorů. Ze všech částí měření (latence, download a upload) byl vypočítán medián, protože má vyšší vypovídající hodnotu než průměr. Měření bylo prováděno u O2, Vodafone a T-Mobile na standardních tarifech bez omezení FUP při měření a s podporou 5G. Měření bylo prováděno na stránce rychlost.cz [34] na serverech Active24.cz a Casablanca CZ.

Všechny níže uvedené informace a ceny ohledně tarifů u všech operátorů jsou platná ke dni 9. 4. 2021.

4.1 O2

O2 bohužel nepodporuje 5G síť u čistě datových tarifů a u tarifů s malým objemem dat. Nejlevnější možný tarif, který by podporoval 5G síť, nabízí O2 tarif YOU 20 GB za 549 Kč měsíčně + 99 Kč za aktivaci s minimální dobou vázání 3 měsíce. Tarif je dostupný pouze pro mladé do dvaceti šesti let [35]. Smlouva se dá vypovědět dříve za poplatek, který cenově vychází stejně jako doplatit zbylé období. O2 má tyto podmínky jako jediný operátor, u jiných operátorů nebyl problém koupit nejmenšího datového objemu s podporou 5G sítě na jeden měsíc. Tento tarif byl použit pro účely měření.

U O2 byla 5G síť změřena pouze v Praze a v Kolíně, jinde O2 nenabízí pokrytí. Ve Starém Hradišti O2 nenabízí ani pokrytí 3G sítí. V Kolíně a Starém Hradišti bohužel nebyla změřena ani 2G síť, protože s poskytovanou rychlostí se bohužel nenačetla ani stránka rychlost.cz. Důvodem nenačtení byl request timeout error.

Jako 2G internet O2 poskytuje EDGE, který byl o něco málo rychlejší v Praze než v Pardubicích. Měl i lepší upload a menší latenci. Jako 3G internet poskytuje HSPA, který byl

nejrychlejší v Pardubicích, ale v Praze měl nejmenší latenci. Ve všech měřených městech poskytuje LTE-Advanced, které bylo také nejrychlejší v Pardubicích a v Praze a v Kolíně mělo nejmenší latenci. 5G síť v Praze byla až 10x rychlejší než v Kolíně, kde má zhruba stejnou rychlost i latenci jako LTE-Advanced. Níže je uvedena tabulka s mediánem výsledných hodnot.

Tabulka 10: Mediány měření, O2

Město a technologie	Latence (ms)	Download (Mbit/s)	Upload (Mbit/s)
EDGE Praha	100,0	0,180	0,0840
EDGE Pardubice	134,5	0,120	0,0745
HSPA Praha	21,0	6,580	1,9800
HSPA Pardubice	27,0	9,595	3,3550
HSPA Kolín	29,5	5,995	3,1900
LTE-A Praha	18,0	25,920	29,7300
LTE-A Pardubice	26,0	96,510	37,1500
LTE-A Kolín	18,0	53,990	19,9800
LTE-A Staré Hradiště	21,0	6,320	12,3600
5G Praha	13,0	259,750	48,7450
5G Kolín	19,0	51,420	20,1300

Zdroj: Vlastní

4.2 Vodafone

Autor osobně využívá Vodafone, takže v měření byl využit osobní tarif, bylo pouze potřeba aktivovat 5G služby. Aktivace proběhla bez problémů a k měření byl využit tarif 4 GB za 299 Kč.

Jelikož Vodafone má největší pokrytí 5G sítě, tak byla změřena všude kromě Starého Hradiště. 3G síť bohužel nebyla změřena nikde, protože Vodafone vypnul 3G 31. 3. 2021. Stejně jako u O2 se nepodařilo změřit 2G síť v Kolíně a ve Starém Hradišti ze stejného důvodu.

Jako 2G internet poskytuje Vodafone také EDGE, který byl také o něco rychlejší v Praze a měl znatelně nižší latenci než v Pardubicích. Vodafone také ve všech měřených městech poskytuje LTE-Advanced, které bylo nejrychlejší v Pardubicích. 5G síť byla také nejrychlejší v Pardubicích, ale se stejnou rychlostí jako LTE-A. V Praze měla také stejnou rychlost jako LTE-A, jen v Kolíně byla 2x rychlejší než LTE-A. Níže je uvedena tabulka s mediánem výsledných hodnot.

Tabulka 11: Mediány měření, Vodafone

Město a technologie	Latence (ms)	Download (Mbit/s)	Upload (Mbit/s)
EDGE Praha	100,0	0,140	0,078
EDGE Pardubice	257,5	0,110	0,185
LTE-A Praha	31,0	118,000	36,260
LTE-A Pardubice	27,0	243,800	10,910
LTE-A Kolín	19,0	50,610	18,470
LTE-A Staré Hradiště	30,0	10,440	4,780
5G Praha	29,5	109,700	9,420
5G Pardubice	32,0	249,300	30,700
5G Kolín	19,5	102,635	24,730

Zdroj: Vlastní

4.3 T-Mobile

V T-Mobile byl zakoupen nejlevnější datový tarif, který T-Mobile nabízí, jedná se o 3 + 1 GB za 249 Kč měsíčně bez vázání na období. Smlouva šla vypovědět hned na místě po aktivaci.

T-Mobile měl ze všech měřených operátorů a měst nejhorší pokrytí 5G, bylo změřeno pouze v Praze. Stejně jako u předchozích dvou operátorů T-Mobile nemá pokrytí 3G ve Starém Hradišti a 2G síť se v Kolíně a Starém Hradišti nepodařila změřit kvůli malé rychlosti.

T-Mobile, stejně jako ostatní operátoři, využívá technologii EDGE, která byla opět nejrychlejší v Praze a měla několikanásobně menší latenci. Jako technologii pro 3G také využívá HSPA, na nějakých místech lze dokonce chytit HSPA+, které ale v Praze i v Kolíně bylo pomalejší než obyčejné HSPA v Pardubicích. Z měřených míst T-Mobile podporuje LTE-Advanced pouze v Praze a v Kolíně. LTE-A v Praze bylo jasně nejrychlejší, ale v Kolíně bylo stejně rychlé jako LTE ve Starém Hradišti. Pardubice pak z měření vycházejí nejhůře. Níže je uvedena tabulka s mediánem výsledných hodnot.

Tabulka 12: Mediány měření, T-Mobile

Město a technologie	Latence (ms)	Download (Mbit/s)	Upload (Mbit/s)
EDGE Praha	96,5	0,150	0,076
EDGE Pardubice	261,5	0,120	0,170
HSPA+ Praha	27,5	12,030	2,245
HSPA Pardubice	48,0	16,245	2,575
HSPA+ Kolín	50,0	8,610	1,740
LTE-A Praha	39,0	230,200	41,030
LTE Pardubice	42,0	12,030	15,800
LTE-A Kolín	43,0	60,900	12,350
LTE Staré Hradiště	21,0	67,150	19,190
5G Praha	38,0	87,545	55,660

Zdroj: Vlastní

4.4 Vyhodnocení

Nedá se jednoznačně říct, který operátor je lepší. Velice záleží na místě, kde se jednotlivé datové technologie využívají. Jak je vidět z měření, tak rozdíl mezi místem u momentálně asi nejvyužívanější 4G sítě je veliký, jedná se až o stovky Mbit/s. Pokud by se člověk měl rozhodovat pro operátora na základě rychlosti dat, tak by si musel uvědomit, na jakém místě by data používal. Zatím asi není ani vhodné kupovat mobil s podporou 5G, protože pokrytí je velice malé a rychlost není vyšší než u 4G. To bude asi způsobeno zatím malým počtem dostupných pásem. Měření bylo všude prováděno okolo druhé hodiny odpolední na velice rušných místech, je tedy možné, že pásma byla „ucpána“ velkým počtem lidí využívajících 5G síť. Do budoucna operátoři slibují zvětšení pokrytí 5G sítí a přidání dalších pásem, což by mělo značně navýšit rychlost, pak už by se konečně vyplatila koupě nového telefonu s podporou 5G.

5 REALIZACE WEBOVÉ APLIKACE

Na základě naměřených rychlostí na referenčních místech byla realizována webová aplikace, která na základě zadaných hodnot nalezne nejlepší tarify od operátora, který měl na daném místě nejrychlejší download rychlost. Z referenčních míst lze vybrat, jestli se uživatel nachází v hlavním městě, krajském městě nebo na vesnici. Dále lze zadat požadavek na minimální požadovanou rychlost, maximální cenu tarifu a síť, kterou bude uživatel využívat. Pokud byla zadána moc nízká cena nebo moc vysoká rychlost nebo síť, která v zadané lokalitě nemá pokrytí, ukáže se hláška, která po uživateli vyžaduje změnu vstupních informací. Pokud uživatel zadá korektní informace, ukáže se tabulka s nabídkou tarifů. Tabulka obsahuje operátora, název tarifu, FUP a cenu. Tato aplikace je zaměřena pouze na datové služby, v informacích o tarifu nejsou zobrazeny služby pro volání a sms. Frontend aplikace byl realizován s využitím frameworku Angular 10.0 a backend byl realizován v PHP 8.0.0. Aplikace běží na serveru Apache. Jako databáze byla použita MariaDB.

Všechny tarify nabízené v aplikaci jsou aktuální k 2. 5. 2021. [\[36\]](#) [\[37\]](#) [\[38\]](#) [\[39\]](#)

5.1 Implementace

Aplikace stojí na databázi o třech tabulkách, „rychlost“, „tarif“ a „operator“.



Obrázek 24: Databázová struktura

Zdroj: Vlastní

V tabulce rychlost jsou uloženy mediány naměřených hodnot v referenčních místech z předchozí kapitoly. V tabulce „operator“ jsou uloženy operátoři poskytující své služby

v České republice. V tabulce „tarif“ jsou uloženy všechny tarify, které čeští operátoři nabízejí bez jakéhokoliv omezení.



Vítejte v aplikaci pro nalezení nevhodnějšího tarifu u operátora s nejvyšší rychlostí v zadané lokaci. Zadejte prosím lokaci, pro kterou chcete zjistit nevhodnější tarif, Váš požadavek na maximální cenu tarifu, minimální rychlost, kterou od poskytovatele požadujete a síť, kterou budete používat. Výsledky jsou pouze orientační, protože jako referenční bod pro každou lokaci posloužilo jedno město. Pro hlavní město Praha, pro krajské město Pardubice, pro okresní město Kolín a pro vesnici staré Hradiště u Pardubic.

Lokace:	<input type="text" value="Hlavní město"/>	▼
Maximální cena:	<input type="text" value="0"/>	Kč
Minimální rychlost download:	<input type="text" value="0"/>	Mbit/s
Síť:	<input type="text" value="4G"/>	▼
<input type="button" value="Potvrdit"/>		
Zvolená lokace:	Hlavní město	
Zvolená cena:	0 Kč	
Zvolená rychlost:	0 Mbit/s	
Zvolená síť:	4G	

Obrázek 25: Hlavní stránka aplikace

Zdroj: Vlastní

Při prvním otevření aplikace se zobrazí pole pro vložení hodnot s již přednastavenými hodnotami. Uživatel může hodnoty změnit a stiskem tlačítka „Potvrdit“ se odešle požadavek na server. Odeslané hodnoty se použijí ve dvou selectech pro získání potřebných tarifů. Jako první se vyselectuje operátor, který dosahuje maximální download rychlosti v zadané referenční lokaci.

```
$$sql = $this->con->prepare("SELECT download as maxDown, operator FROM  
rychlost where download=  
                (SELECT MAX(download) FROM (SELECT download,  
operator FROM rychlost where lokace = :lokace AND sit = :sit) tmp)");  
$$sql->bindParam(':lokace', $lokace);  
$$sql->bindParam(':sit', $sit);  
$$sql->execute();
```

Pokud je rychlost větší než zadaná minimální rychlost, proběhne druhý select, který vrátí všechny tarify, které mají menší cenu, než je zadaná maximální cena, a které poskytuje operátor, který měl největší rychlost z předchozího selectu. Pokud je rychlost menší nebo cena menší než nejlevnější tarif, nevrátí se nic a uživateli se vypíše hláška: „Pro vaše zadané hodnoty nebyl nalezen žádný vhodný tarif, zkuste změnit síť, snížit rychlost nebo zvýšit cenu.“.

```

$sql = $this->con->prepare("SELECT operator.nazev, cena, tarif.nazev as
tarifNazev, fup FROM tarif JOIN operator ON tarif.operator=operator.id
where cena < :cena AND tarif.operator =
:operator");
$sql->bindParam(':cena', $cena);
$sql->bindParam(':operator', $vysledek[0]['operator']);
$sql->execute();

```

Výsledné tarify se pošlou ve formě JSONu, který je poté dekodován a tarify jsou vypsány do tabulky.

Operátor	Název tarifu	FUP	Cena
T-Mobile	Data 2 GB	2 GB	525 Kč
T-Mobile	Data 4 GB	4 GB	625 Kč
T-Mobile	Data 15 GB	15 GB	825 Kč
T-Mobile	SD neomezeně	Neomezené	1075 Kč
T-Mobile	HD neomezeně	Neomezené	1275 Kč
T-Mobile	MAX neomezeně	Neomezené	1575 Kč

Obrázek 26: Výsledek hledání v aplikaci

Zdroj: Vlastní

ZÁVĚR

5G síť a její postupné zdokonalování přinese velkou revoluci lidstva ve vnímání a využívání mobilních sítí. Po rozšíření pokrytí na všechny města a hlavní koridory se z obyčejného použití v mobilních telefonech přesuneme k autonomním vozům a IoT využití v technologicky vyspělých státech. Dnes nepředstavitelně velké rychlosti a malá latence nám budou schopny rozšířit využití. V nějakých státech se k tomuto bodu již blíží poměrně velkým pokrytím. Česká republika zatím bohužel zaostává na chvostu. Nicméně velká změna by měla přijít v avizovaném roce 2023.

Starší sítě již pomalu upadají, 2G se stále využívá, protože není tak nákladné a jeho vypnutí by způsobilo nějakým uživatelům problémy. 3G sítě již upadly a budou v nejbližší době vypínány, v České republice tomu tak již jeden operátor učinil, jeden to má v plánu letošní rok a poslední to nejspíše v nejbližší době také oznámí. 4G sítě s námi ještě nějakou dobu zůstanou, jejich pokrytí, hlavně v České republice, je veliké a využívá je hodně lidí. Přejít na 5G bude hodně pomalý a v mezidobě lidé budou stále využívat 4G sítě.

Dle naměřených rychlostí se nedá určit, který operátor je v České republice má nejvyšší, velice závisí na lokaci, kde je daná síť využívána. Také bylo zjištěno, že 5G síť v České republice ještě zdaleka nedosahuje rychlostí 4G sítě a pokrytí 5G sítě je velice malé, takže ještě není vhodná doba ke koupi mobilních telefonů s podporou 5G sítě.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] GSM Systém a jeho využití. In: tegus [online]. 20. 5. 2015 [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.tegus.cz/magazin/technologie/gsm-system-a-jeho-vyuziti>
- [2] MICHÁLEK ZDENĚK. GPRS: jak to vlastně přesně funguje ? In: Svět hardware [online]. 26. 9. 2002 [cit. 23. 3. 2021]. ISSN 1213-0818 Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/gprs-jak-to-vlastne-presne-funguje/19971>
- [3] In: Wayback machine [online]. 16. 3. 2005 [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20050316165050/http://www.ericsson.com/products/white_papers_pdf/edge_wp_technical.pdf
- [4] ZIKMUND DAVID. Technologie: jsou sítě CDMA lepší než GSM? In: mobilania.cz [online]. 7. 4. 2003 [cit. 23. 3. 2021]. ISSN 1214-1887 Dostupné z: <https://mobilmania.zive.cz/clanky/technologie-jsou-site-cdma-lepsi-nez-gsm/sc-3-a-1104498/default.aspx>
- [5] ZIKMUND MARTIN. UMTS už klepe na dveře. Co všechno umí? In: iDNES.cz [online]. 7. 10. 2005 [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/mobil/tech-trendy/umts-uz-klepe-na-dvere-co-vsechno-umi.A051006_220629_mob_tech_dno
- [6] PUŽMANOVÁ RITA. Komplet HSPA = (HSDPA + HSUPA). In: dsl.cz [online] 8. 12. 2005 [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.dsl.cz/clanky/289-komplet-hspa-hsdpahsupa>
- [7] DOLEJŠ JAN. LTE – vše, co potřebujete vědět o nejrychlejším mobilním internetu. In: Svět androida [online]. 4. 7. 2017 [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/lte-internet/>
- [8] TRLICA DAVID. Co je to 5G internet? Vše, co potřebujete vědět o síti nové generace. In: Svět androida [online]. 13. 12. 2018 [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.svetandroida.cz/5g-internet-site-rychlost/#5g_site

- [9] IHR. Konec 3G v Česku, Takto to bude probíhat, vysvětlují operátoři. In: iDNES.cz [online]. 12. 3. 2021 [cit. 29. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/mobil/mobilni-operatori/cesko-3g-mobilni-sit-vypinani-video-vysvetleni.A210311_104442_mobilni-operatori_LHR
- [10] Výpočet pokrytí. In: Český telekomunikační úřad [online]. 2014 [cit. 29. 3. 2021]. Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-pokryti/vypocet-pokryti>
- [11] IHR. V pokrytí signálem je Česko Evropskou elitou. In: iDNES.cz [online]. 28. 6. 2018 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/mobil/mobilni-operatori/pokryti-mobilni-signal-kvalita-cesko-evropa-opensignal-lte-2g-3g.A180622_161327_mobilni-operatori_LHR
- [12] 5G coverage map. In: nperf [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.nperf.com/cs/map/5g>
- [13] Mapa pokrytí. In: Vodafone [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/mapa-pokryti/>
- [14] Mapa pokrytí. In: O2 [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.o2.cz/osobni/mapa-pokryti>
- [15] Mapa pokrytí. In: T-Mobile [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/podpora/mapa-pokryti>
- [16] Mizerné 3G pokrytí v ČR. In: adsl.cz [online]. 1. 10 2013 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.adsl.cz/clanky/mizerne-3g-pokryti-v-cr>
- [17] Veřejné širokopásmové mobilní sítě. In: Český telekomunikační úřad [online]. 18. 3. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-pokryti/>

- [18] PAPADOPOULOS IOANNIS. Přehledně: aktuální pokrytí 5G mobilních sítí v České republice. In: mobilenet.cz [online]. 30. 12. 2020 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/prehledne-aktualni-pokryti-5g-mobilnich-siti-vceske-republice-42602>
- [19] Mobilná sieť. In: Orange [online]. 2018 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.orange.sk/onas/mapa-pokrytia/>
- [20] Mapa dostupnosti služieb O2. In O2 [online]. 2020 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.orange.sk/onas/mapa-pokrytia/>
- [21] Mapa pokrytia a dostupnosti služieb. In: telekom.sk [online]. 22. 2. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.telekom.sk/wiki/mapa-pokrytia>
- [22] Network coverage. In: Telefonica [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.telefonica.de/network/mobile-network/network-coverage.html>
- [23] Telekom Mobilfunk-Netzausbau. In: T-Mobile [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.telekom.de/netz/mobilfunk-netzausbau?wt_mc=alias_301_start/netzausbau
- [24] Netzausbau: So gut ist unser Netz. In: Vodafone [online]. 2021 [cit. 31. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.vodafone.de/hilfe/netzausbau.html>
- [25] TIP#1036: Co je to 5G, 4G, LTE, 3G, HSPA, GPRS či EDGE?. In: @365tipu [online]. 15. 3. 2018 [cit. 6. 4. 2021]. Dostupné z: <https://365tipu.cz/2018/03/15/tip1036-co-je-to-5g-4g-lte-3g-hspa-gprs-ci-edge/>
- [26] NAVRÁTIL JAN. Technologie HSDPA: nejrychlejší mobilní data jsou za humny. In: monilmania.cz [online]. 24. 3. 2005 [cit. 6. 4. 2021]. ISSN 1214-1887 Dostupné z: <https://mobilmania.zive.cz/clanky/technologie-hsdpa-nejrychlejsi-mobilni-data-jsou-za-humny/sc-3-a-1109670/default.aspx>

- [27] Co je to HSUPA. In: Netinbag.com [online]. 2021 [cit. 6. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.netinbag.com/cs/technology/what-is-hsupa.html>
- [28] PETERKA JIŘÍ. Budoucnost rychlých mobilních dat: HSPA+ a LTE. In: LUPA.cz [online]. 23. 2. 2007 [cit. 6. 4. 2021]. ISSN 1213-0702 Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/budoucnost-rychlych-mobilnich-dat-hspa-a-lte/>
- [29] PRAVDA Ivan. Mobilní a bezdrátové sítě. In: publi.cz [online] 2015 [cit. 6. 4. 2021]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/236/05.html>
- [30] Stručný průvodce technologií 4G LTE. In: Hytera [online]. 2020 [cit. 7. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.hyt.cz/strucny-pruvodce-technologie-4g-lte/>
- [31] KROMPOLC TOMÁŠ. Vše, co potřebujete vědět o 5G: fascinující technologie plná úskalí. In: smartmania.cz [online]. 3. 12. 2018 [cit. 9. 4. 2021]. ISSN 1801-3066 Dostupné z: <https://smartmania.cz/5g-site-internet-rychlost/>
- [32] TEV. 5G síť s sebou zřejmě nese pouze malá zdravotní rizika, zjistili vědci během experimentu s rybami. In: Česká televize [online]. 11. 7. 2020 [cit. 7. 4. 2021]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/3136769-5g-sit-s-sebou-zrejme-nese-pouze-mala-zdravotni-rizika-zjistili-vedci-behem-experimentu>
- [33] Handover. In: ITBITZ [online]. 13. 9. 2011 [cit. 7. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.itbiz.cz/slovník/telekomunikace/handover>
- [34] Rychlost internetu. In: RYCHLOST.cz [online]. 2021 [cit. 11. 4. 2021]. Dostupné z: <https://rychlost.cz/>
- [35] Nové tarify pro mladé O2 YOU. In: O2 [online]. 2021 [cit. 28. 4. 2021]. Dostupné z: https://www.o2.cz/osobni/tarif-a-mobil-pro-mlade?cid=cca-pop_you_Q2_21m04-21m04-aw-POP_4_YOU_tarify2_512988694962&gclid=CjwKCAjwj6SEBhAOEiwAvFRuKHu14xqZ99DM8NsIx4CQlvdiVmHKQtfhBdnIwjlp0JuqVjXngkwm6hoCZ2gQAvD_BwE

- [36] O2 tarify s neomezenými daty. In: O2 [online]. 2021 [cit. 2. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.o2.cz/podnikatel/volani-z-mobilu>
- [37] Neomezená data. In: Vodafone [online]. 2021 [cit. 2. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/tarify/neomezena-data/>
- [38] Mobilní tarify od Vodafonu. In: Vodafone [online]. 2021 [cit. 2. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/tarify/>
- [39] Mobilní tarify. In: T-Mobile [online]. 2021 [cit. 2. 5. 2021]. Dostupné z: [https://www.t-mobile.cz/tarify?campaign=SRCH: VOICE - TARIF - Tarif + Brand \(EX\)&gclid=CjwKCAjwm7mEBhBsEiwA_of-TLqHARQKbuSnzYvGCTeOaXmuxsOQvwQ4BOZy7OuORymdUlGy4J12SxoCyEIQA_vD_BwE](https://www.t-mobile.cz/tarify?campaign=SRCH: VOICE - TARIF - Tarif + Brand (EX)&gclid=CjwKCAjwm7mEBhBsEiwA_of-TLqHARQKbuSnzYvGCTeOaXmuxsOQvwQ4BOZy7OuORymdUlGy4J12SxoCyEIQA_vD_BwE)
- [40] ČERNOTA, Michal. *Využitelnost a efektivita mobilního Internetu v ČR*. Pardubice, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Jiří Kysela.