



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra telekomunikační techniky**

**Překryv buněk v mobilní síti**

**květen 2016**

**Diplomant: Bc. Michal Mihalov**

**Vedoucí práce: Ing. Robert Bešťák, Ph.D.**

## 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:

.....

podpis diplomanta

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Mihalov Michal**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Sítě elektronických komunikací

Název tématu: **Překryv buněk v mobilní síti**

Pokyny pro vypracování:

Analyzujte lokalizační a provozní záznamy z mobilní sítě (získaných v průběhu jednoho týdne) a následně navrhnete mechanismus pro určování překryvu buněk z využitím těchto dat. Proveďte rozbor získaných výsledků.

Seznam odborné literatury:

- [1] Walke, B. H.: Mobile Radio Networks, networking and protocols. John Wiley & Sons. Stuttgart 1999. ISBN 0-471-97595-8.
- [2] Baesens, B.: Analytics in a Big Data World: The Essential Guide to Data Science and its Applications. Wiley; 1 edition (April 15, 2014), ASIN: B00JR5LAC6.
- [3] Marr, B.: Big Data: Using SMART Big Data, Analytics and Metrics To Make Better Decisions and Improve Performance. Wiley; 1 edition (January 9, 2015), ASIN: B00S4TBEJK.

Vedoucí: Ing. Robert Bešťák, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

prof. Ing. Boris Šimák, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 3. 12. 2015

**Anotace:**

Cílem této práce je analýza lokalizačních a provozních záznamů ze sítě mobilního operátora. Z provedené analýzy je poté navrhnout mechanismus na zjišťování překryvu mobilních buněk s následnou realizací v simulačním prostředí. V práci je stručně shrnut postupný vývoj mobilních sítí, k nim typické architektury a nakonec rozbor buňkové topologie. Mobilní sítě jsou z teoretického hlediska probrány od sítí první generace až po moderní, stále se vyvíjející sítě páté generace. V této práci jsou však zpracovávány záznamy pouze druhé a třetí generace.

**Klíčová slova:**

Překryv buněk, Buňkové sítě, Mobilní sítě, Lokalizační záznamy, Provozní záznamy

**Summary:**

The aim of this work is to analyze localization and operating records of a mobile network operator. From the conducted analysis a mechanism to detect overlapping mobile cells is designed with its subsequent implementation in the simulation environment. The work briefly summarizes the gradual evolution of mobile networks, the characteristic architectures, and eventually analysis of a cellular topology. Mobile networks are introduced from the first generation networks to the modern, still evolving network known as fifth generation. However, this work processes supplied records of the second and the third generation.

**Index Terms:**

Cell overlap, cellular networks, mobile networks, localization records, operating records

# Obsah

Seznam obrázků .....	1
Seznam tabulek.....	2
1. Úvod.....	3
2. Evoluce a architektura mobilních sítí .....	5
2.1 První generace .....	6
2.2 Druhá generace .....	6
2.3 Třetí generace .....	7
2.4 Čtvrtá generace .....	8
2.5 Pátá generace .....	8
2.6 Architektura mobilních sítí .....	9
3. Buňkové sítě .....	11
3.1 Sektorizace buněk .....	12
3.2 Velikost buněk .....	13
3.3 Překryv buněk.....	15
4. Popis scénáře .....	17
4.1 Vysvětlení pojmů: .....	18
4.2 Vstupní data.....	20
5. Simulace a získané výsledky .....	22
5.1 Zastoupení přechodů v celkovém počtu záznamů .....	22
5.2 Počet jedinečných buněk a základnových stanic.....	23
5.3 Počet záznamů pro jednotlivé dny.....	25
5.4 Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny .....	27
5.5 Počty záznamů připadající na určitý počet uživatelů .....	29
5.6 Počet záznamů v závislosti na délce trvání přechodu .....	32
5.7 Počet jedinečných uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu .....	36
5.8 Aktivita uživatelů v průběhu dne .....	38
5.9 Vyhodnocení výsledků.....	44
Závěr .....	47
Seznam zkratk.....	48
Literatura .....	50

# Seznam obrázků

Obr. 1: Evoluce mobilních sítí [1] .....	5
Obr. 2: Architektura 2G, 3G a 4G mobilních sítí.....	9
Obr. 3: Příklad sektorů v buňkové síti .....	11
Obr. 4: Porovnání svazků buněk a) 7 buněk, b) 21 buněk .....	12
Obr. 5: Síť se sektorizací.....	13
Obr. 6: Základní typy buněk .....	13
Obr. 7: Reálná mapa pokrytí [18] .....	15
Obr. 8: Překryv buněk .....	16
Obr. 9: Porovnání překrývajících se a nepřekrývajících se intervalů .....	18
Obr. 10: Příklad přechodu mezi buňkami .....	19
Obr. 11: Zastoupení jednotlivých přechodů v analyzovaných záznamech.....	22
Obr. 12: Porovnání všech buněk s 2G, 3G buňkami a základnovými stanicemi.....	24
Obr. 13: Počet záznamů pro jednotlivé dny - překrývající se intervaly.....	25
Obr. 14: Počet záznamů pro jednotlivé dny - nepřekrývající se intervaly.....	26
Obr. 15: Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny - překrývající se intervaly .....	28
Obr. 16: Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny - nepřekrývající se intervaly .....	28
Obr. 17: Počet všech záznamů připadající na určitý počet uživatelů .....	30
Obr. 18: Počet 3G záznamů připadající na určitý počet uživatelů.....	31
Obr. 19: Počet 2G záznamů připadající na určitý počet uživatelů.....	31
Obr. 20: Počet záznamů z 2G do 3G a z 3G do 2G připadající na určitý počet uživatelů.....	32
Obr. 21: Počet všech záznamů v závislosti na délce trvání přechodu .....	33
Obr. 22: Počet záznamů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 2G b) z 3G do 3G ..	34
Obr. 23: Počet záznamů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 3G b) z 3G do 2G ..	34
Obr. 24: Počet všech uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu.....	36
Obr. 25: Počet uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 2G b) z 3G do 3G..	37
Obr. 26: Počet uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 3G b) z 3G do 2G ..	37
Obr. 27: Aktivita jedinečných uživatelů v průběhu celého týdne (15 min. vzorky).....	39
Obr. 28: Aktivita jedinečných uživatelů v průběhu celého týdne (1 min. vzorky).....	40
Obr. 29: Aktivita jedinečných uživatelů v pondělí - nepřekrývající se intervaly .....	41
Obr. 30: Aktivita uživatelů (všechny záznamy) v pondělí - nepřekrývající se intervaly .....	41
Obr. 31: Aktivita jedinečných uživatelů v pondělí - přechody a) z 2G do 2G b) z 3G do 3G.....	43
Obr. 32: Aktivita jedinečných uživatelů v pondělí - přechody a) z 2G do 3G b) z 3G do 2G.....	43

# Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání parametrů buněk [17].....	14
Tab. 2: Příklad zpracovávaných záznamů .....	20
Tab. 3: Přehledová tabulka počtu záznamů .....	23
Tab. 4: Přehledová tabulka počtu buněk.....	24
Tab. 5: Počet záznamů pro jednotlivé dny v překrývajících se intervalech .....	27
Tab. 6: Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny v překrývajících se intervalech .....	29
Tab. 7: Příklad překryvu buněk .....	44



# 1. Úvod

V současné době jsou telekomunikační a informační technologie nedílnou součástí každodenního života. Velmi důležitou roli v životě lidstva zastává mobilní telefon. Převážná většina lidí si již ani nedokáže představit život bez tohoto mobilního zařízení v ruce či kapse. Kdysi byl mobil využíván pouze pro volání nebo později pro posílání zpráv. Postupně se z něj ale stává univerzální přístroj pro všechno. Původně primární účel, telefonování, je dnes pouze jedna z mnohých funkcí mobilního zařízení. Nepoužíváme jej již pouze pro komunikaci, ale také pro brouzdání po internetu, namísto hudebních přehrávačů nebo GPS (*Global Position System*) navigace, na hraní her nebo dokonce pro sportovní účely a sledování televize. Právě díky jeho všestrannému využití se stává nepostradatelným zařízením, bez něhož už většina lidí neudělá ani krok.

Je třeba si uvědomit, že pro používání těchto zařízení musí být dané území pokryto mobilním signálem. Mobilní operátoři se v aktuální době snaží o pokrytí co největšího území mobilním signálem. Snaha je o úplnou eliminaci míst bez pokrytí nebo jich alespoň mít co nejméně. Z toho důvodu vznikají situace, kdy se pro dosažení úplného pokrytí, signály z jednotlivých základnových stanic překrývají.

Jak se lidi pohybují, jejich zařízení se většinou přesouvá s nimi, což způsobí změnu obsluhující základnové stanice. Mimo jiné, jsou právě všechny tyto přesuny zaznamenávány a uchovávány mobilními operátory pro různé statistické a funkční úkony. Hlavní náplní této diplomové práce je analyzovat tyto poskytnuté lokalizační a provozní záznamy. Z důvodu zachování anonymity není zdroj vstupních dat v práci uveden.

První část práce poskytuje teoretický úvod z oblasti mobilních sítí. Druhá kapitola pojednává o evoluci mobilních sítí od úplného počátku, tedy od sítí plně analogových až po dnešní nejmodernější digitální sítě. Jednotlivé generace jsou rozebrány primárně z hlediska dosahovaných rychlostí a zjednodušené architektury. Nechybí ani zmínka o generaci, jež je prozatím ve fázi vývoje.

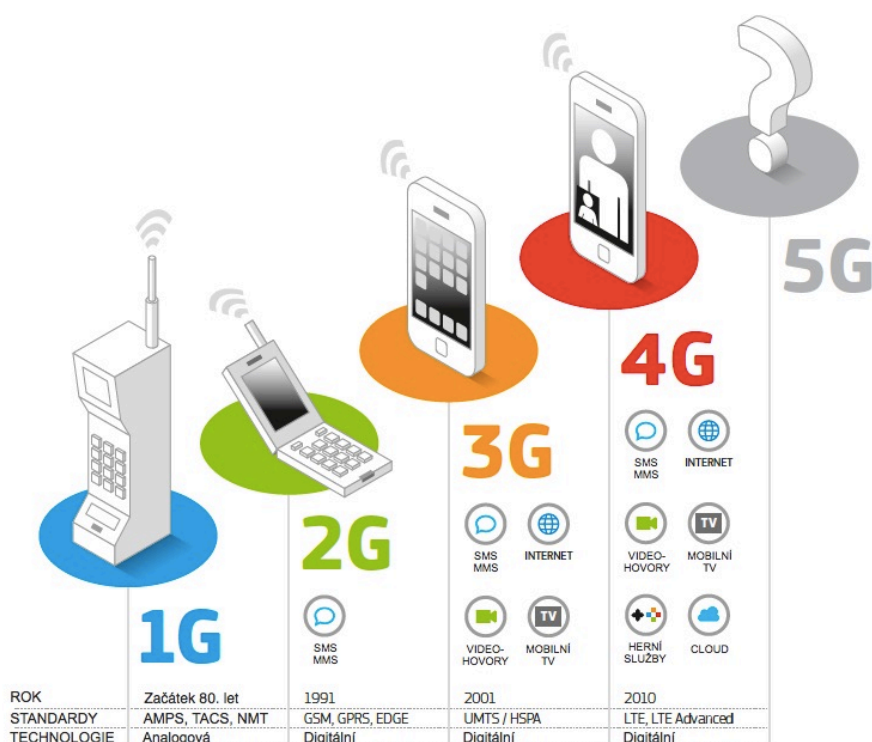
Bližší zaměření na buňkovou topologii mobilních sítí obsahuje třetí kapitola. Vysvětluje pojmy, jako jsou sektorizace buněk, velikost buněk a také v této práci důležitý pojem překryv buněk.

Kapitola čtvrtá se zaměřuje na praktickou část práce a vysvětlení pojmů potřebných pro pochopení následující kapitoly. Dále jsou zde přiblížena vstupní data, které jsou analyzována.

Samotná analýza a zpracování poskytnutých dat je zpracována v kapitole páté. Navazuje kapitola šestá, která následně zhodnocuje a shrnuje výsledky získané během analýzy.

## 2. Evoluce a architektura mobilních sítí

Svět jako jsme ho znali dřív už neexistuje. Postupně se mění. Kdysi lidé pro transport dat posílali posly nebo poštovní holuby. Postupně se začaly pro rychlejší transport využívat auta. První modely dosáhly minimální rychlosti, s postupem času se ale návrháři soustředili na jednotlivé prvky, kterými by mohli dosáhnout lepší optimalizace a vyššího výkonu. A teda i vyšší rychlosti. V dnešní době nejrychlejší auto dosahuje rychlost několik stovek kilometrů za hodinu. Podobně je tomu i u mobilních sítí. Již v 80. letech vznikla první generace mobilních sítí, kdy si lidé mohli mezi sebou volat za pomoci analogového spojení, což byl základ pro další vývoj mobilní sítě. Další generace již využívali digitální spojení. Jak postupoval čas bylo třeba poskytnout tyto služby pro více zákazníků, tedy i zvětšit kapacitu této sítě. Mimo jiné stále stoupaly i nároky uživatelů na kvalitu a rychlost poskytovaných služeb. Právě proto se hledali nové způsoby, které vedly ke vzniku několika dalších generací mobilních sítí.



Obr. 1: Evoluce mobilních sítí [1]

Obr. 1 zobrazuje postupný rozvoj všech těchto generací, od 1. až po zatím poslední, 5. generaci, které budou vysvětleny v následujících podkapitolách. Můžeme si také povšimnout, že pro každou generaci je zobrazeno typické

mobilní zařízení dané doby a dostupné služby. Výjimkou je 5. generace, která je zatím ve vývoji a jak mobilní zařízení, tak i služby pro tuto generaci nejsou specifikované. Dále bude rozebrána architektura jednotlivých generací.

## 2.1 První generace

První generace mobilních sítí, tedy 1G (*First Generation*), vznikají již v roce 1980. Jde o analogové systémy se zaměřením na analogový přenos hlasu. Jako metoda vícenásobného přístupu se používá kmitočtové dělení FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) [2]. Nejznámějšími systémy této generace jsou AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) používaný v USA, NMT (*Nordic Mobile Telephone*) používaný v Evropě a TACS (*Total Access Communication System*) využívaný zejména ve Velké Británii [3].

## 2.2 Druhá generace

Nejznámějším představitelem spadajícím do kategorie 2G (*Second Generation*) mobilních sítí je systém GSM (*Global System for Mobile Communication*), který byl vyvinut v roce 1980 a poprvé nasazen v roce 1991 [4]. Jako přístupová technika je využita FDMA/TDMA (*Frequency Division Multiple Access / Time Division Multiple Access*). Systém GSM byl původně realizován pouze v pásmu 900 MHz (standard GSM 900), později však, kvůli velkému nárůstu provozu, vznikly další 2 standardy. Standardy GSM 1800 a GSM 1900, využívajících frekvenčních pásem 1800 MHz pro Evropu a 1900 MHz pro USA. GSM nabízí, i když jen velmi pomalé, datové spojení o rychlosti 9,6 Kbit/s, které bylo později navýšeno na 14,4 Kbit/s [5]. Ačkoliv se v této generaci mobilních sítí jedná již o digitální systémy a začínají se objevovat i další doplňující nehlasové služby, stále se zaměřuje spíše na služby hlasové.

### **Přechodové generace 2,5G a 2,75G**

Postupným vylepšováním systémů druhé generace, hlavně z hlediska přenosové rychlosti vznikla technologie GPRS (*General Packet Radio Services*) a dále pak technologie EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*), někdy také nazývané 2,5. generace a 2,75. generace. Tyto technologie, na rozdíl od GSM, nepracují pouze s přepínáním okruhů, ale i s přepínáním paketů. Zde je již

možné, mimo hlasové a textové komunikace, přenášet i data. U GPRS až do rychlosti 150 Kbit/s a u EDGE až do rychlosti 384 Kbit/s [5].

## 2.3 Třetí generace

Z důvodu stále se zvyšujících nároků na mobilní sítě a to hlavně na přenos dat začala být technologie 2G nedostatečná. Koncem 20. století se tedy začalo pracovat na další generaci mobilních systémů, které jsou implementovány do již existujících sítí druhé generace. Tyto systémy se souhrnně označují jako systémy 3. generace. Soupis požadavků a doporučení pro sítě 3G (Third Generation) jsou součástí standardu IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) sepsaných organizací 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). V Evropě je tento standard nazýván UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), kdežto v USA se používá název CDMA 2000 (*Code Division Multiple Access 2000*) [2]. Teoretická přenosová rychlost UMTS velmi závisí na mobilitě přijímací stanice a pohybuje se v rozmezí 144 Kbit/s až 2 Mbit/s. Při vysoké mobilitě se rychlost bude blížit spíše spodní hranici a naopak při nižší až žádné mobilitě bude rychlost přenosu dosahovat až 2 Mbit/s [6]. Frekvence, které se v systémech 3. generace používají jsou 1885 až 2025 a 2110 až 2200 MHz [7].

### Přechodové generace 3,5G

Další vývoj mobilních sítí vedl i ke zvýšení přenosové rychlosti a zavedení nových technologií, kterými jsou HSPA (*High Speed Packet Access*) a HSPA+ (*Evolved High Speed Packet Access*). HSPA je v podstatě sloučení dvou mobilních protokolů, kterými jsou HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), používaným pro sestupný směr a dosahující přenosové rychlosti až 14,4 Mbit/s a HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), používaným pro vzestupný směr a dosahující přenosové rychlosti až 5,8 Mbit/s [2]. Další technologií, která je následníkem HSPA je HSPA+. Původní přenosové rychlosti HSPA+ podle Verze 7 (Release 7) byla 28 Mbit/s v sestupném směru a 11 Mbit/s ve směru vzestupném. Jelikož ani tyto rychlosti nebyly dostatečné, je další navyšování přenosových rychlostí umožněno v pozdějších verzích. V dnešní době je již rychlost přenosu až 168 Mbit/s v sestupném směru a 23 Mbit/s v

vzestupném směru (Release 10) [8]. Samozřejmě se jedná o teoretické rychlosti, kterých se reálně většinou nedosahuje.

## 2.4 Čtvrtá generace

Dalším krokem ve vývoji mobilních sítí jsou sítě 4. generace, tedy 4G (*Fourth Generation*). Tyto sítě musí splňovat požadavky definované organizací ITU (International Telecommunication Union) podle standardu IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications Advanced*), mezi které patří:

- Přenosová rychlost mobilních dat by měla dosahovat až 100 Mbit/s
- Přenosová rychlost mobilních dat při nízké až žádné mobilitě až 1 Gbit/s
- Větší kapacita než IMT-2000
- Menší latence
- Lepší QoS (*Quality of Service*) a další [9]

Do této kategorie spadá technologie LTE-Advanced (*Long Term Evolution-Advanced*). Někdy se, ovšem mylně, do této kategorie řadí i její předchůdce LTE (*Long Term Evolution*). Mylně z toho důvodu, že nespĺňuje právě výše definované požadavky na systémy 4G. Technologie LTE je tedy stále považovaná spíše za součást systémů 3G a značí se jako "pre 4G", někdy také 3,9G.

## 2.5 Pátá generace

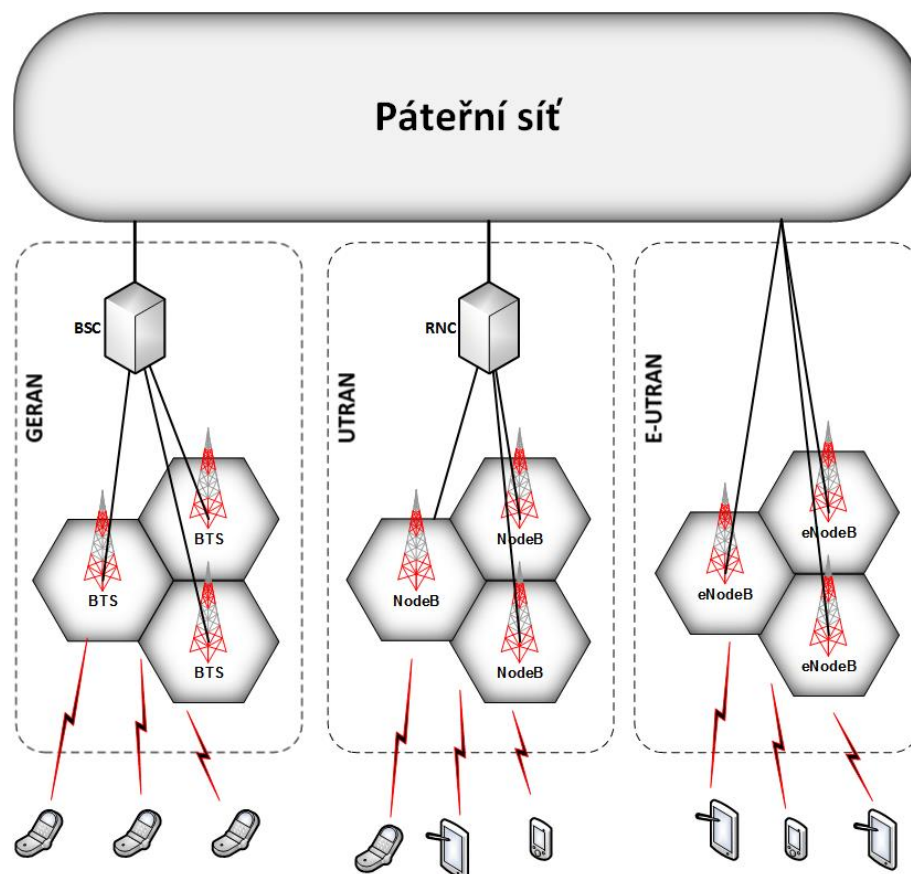
Stále výkonnější mobilní telefony a notebooky kladou i větší nároky na přenosovou rychlost. Z toho důvodu už je ve vývoji další generace, v pořadí již pátá. Nasazení 5G (*Fifth Generation*) se očekává až v roce 2020, je proto zatím brzy definovat tento systém s určitou jistotou. 5G by měly poskytovat vyšší kapacitu, spektrální efektivitu a větší přenosovou rychlost. Až 10 Gbit/s pro nízkou mobilitu a až 1 Gbit/s pro vysokou mobilitu. Hlavním cílem 5G je propojit celý svět bezproblémovou a všudypřítomnou komunikací. Měla by poskytovat komunikaci i v oblastech, kde to 4G nepodporuje, např. vysokorychlostní vlaky, které dosahují rychlosti až 500 km/h, kde 4G končilo u rychlosti 250 km/h [10].

## 2.6 Architektura mobilních sítí

Obecně lze systémy všech generací rozdělit do dvou základních částí:

**Rádiová přístupová síť** - RAN (*Radio Access Network*) zajišťuje přístup uživatele do páteřní sítě. Nachází se tedy mezi uživatelským zařízením (mobilní telefon, notebook, ...) a páteřní sítí. Přístupové sítě jsou v každé generaci systému nazývané jinak, stejně tak jako připojená uživatelská zařízení.

**Páteřní síť** - CN (*Core Network*) jejíž hlavní funkcí je provádět spojovací funkce, tedy spojování uživatelů či směrování paketů. Dále jsou zde uchovány důležité informace například o tarifkaci uživatelů.



Obr. 2: Architektura 2G, 3G a 4G mobilních sítí

### Architektura 2G

Pro přístupovou síť této generace se používá název GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*). Bezdrátová zařízení, komunikující s BTS (*Base Transceiver Station*) jsou nazývána MS (*Mobile Station*), tedy mobilní stanice.

Jak je patrné z Obr. 2, přístupová síť GERAN obsahuje dvě hlavní komponenty. Jednou z nich je již zmíněná BTS a druhou řídicí základnová stanice BSC (*Base Station Controller*). BTS jsou zodpovědné za navázání bezdrátové komunikace s MS a následným odesláním a příjmem dat. BTS se skládá z jedné či více vysílacích/přijímacích antén umístěných na stožáru a potřebného HW a SW pro její správnou funkci. Několika BTS je vždy přiřazena jedna BSC, jejímž úkolem je zejména přidělovat rádiové kanály a zajišťovat také správnou funkci předávání spojení [11].

### **Architektura 3G**

Tato architektura vychází z architektury sítě 2. generace a je s ní tedy zpětně kompatibilní. Pro přístupovou síť se však nepoužívá název GERAN, nýbrž UTRAN (*Universal Terrestrial Radio Access Network*). Bezdrátová zařízení schopná přistupovat k této síti se souhrnně nazývají UE (*User Equipment*), což jsou uživatelská zařízení. Obdobou BTS jsou základnové stanice NodeB, umožňující uživateli připojení k síti 3G pomocí rádiového kanálu. Podobně jako jsou BTS nahrazeny NodeB, je nahrazeno i BSC a to konkrétně RNC (*Radio Network Controller*). RNC má velmi podobné funkce jako BSC, má však o něco větší "zodpovědnost", jelikož přebírá funkci některých bloků, které byly původně v CN [12].

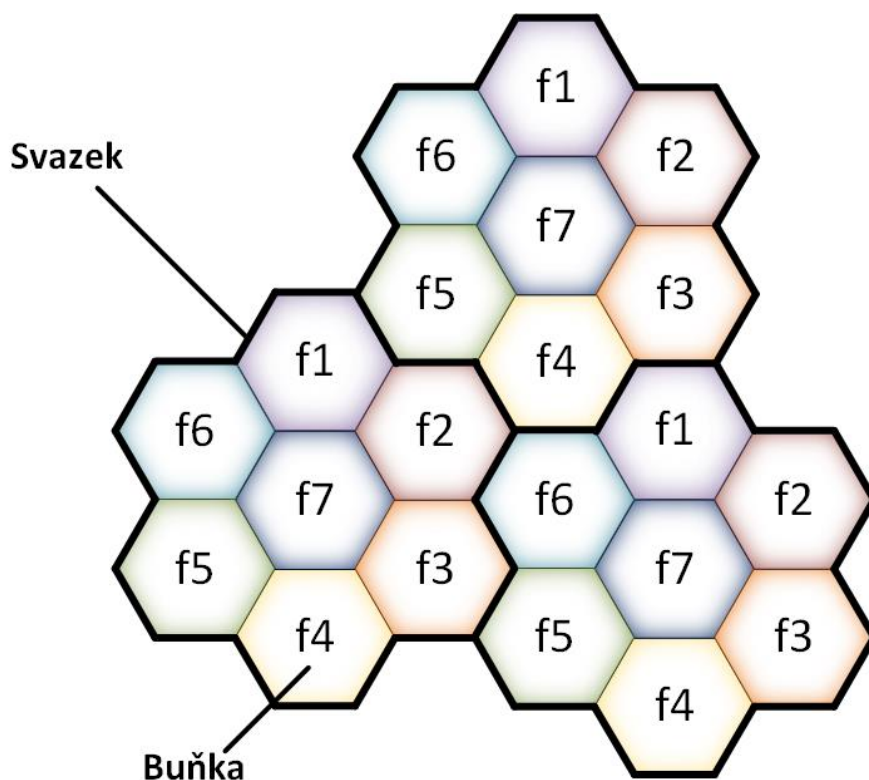
### **Architektura 4G**

Přístupová část, používaná v této architektuře je odvozena z architektury 2G a 3G sítí, ale na rozdíl od těchto dvou používá pouze přepojování paketů (nepoužívá již přepojování okruhů). Přístupová část 4G sítí se označuje jako E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*). Základnové stanice pro tuto technologii se nazývají eNodeB (*Evolved NodeB*) a bezdrátové koncové zařízení, stejně tak jako ve 3G, nesou název UE. Novinkou v této architektuře je absence řídicí jednotky. Funkce řídicí jednotky jsou již součástí eNodeB, proto jsou zodpovědné např. i za přidělování rádiových kanálů, zajištění předávání spojení, atd. [13].



### 3. Buňkové sítě

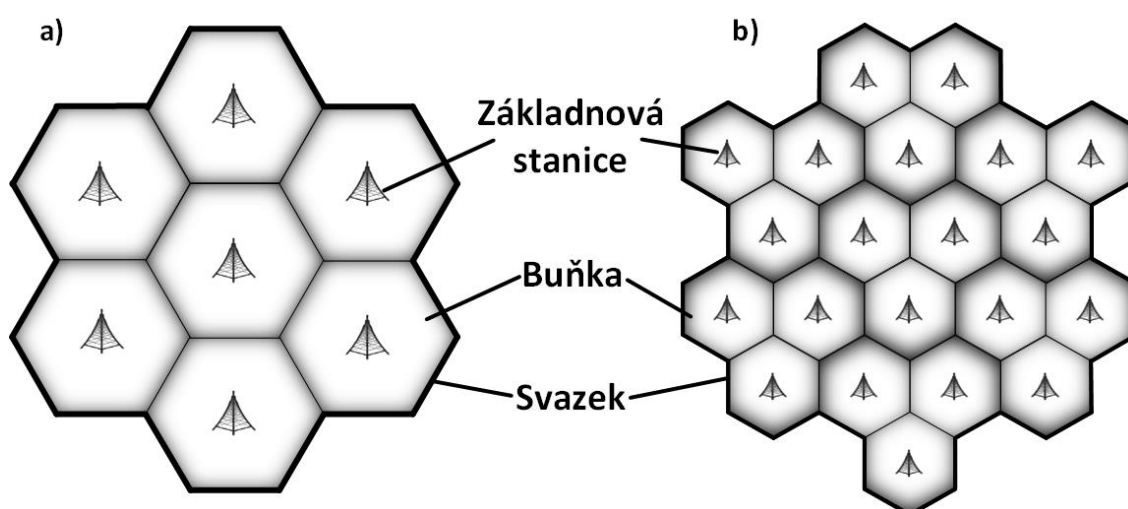
Mobilní sítě jsou celulární (buňkové) sítě, což znamená, že celá oblast pokrytí je rozdělena na buňky, ke kterým se mobilní stanice připojují. Každá buňka je obsluhována jednou základnovou stanicí a mobilní stanice vždy vyhledávají tu nejbližší, ke které se mohou připojit. Podstatou této buňkové sítě je rozdělení jednoho velkého geografického území na větší množství menších území zvaných buněk. Díky tomuto rozdělení je možné použít stejnou frekvenci v jiné, dostatečně vzdálené buňce, a tímto způsobem pokrýt teoreticky nekonečně velké území. Sousední buňky vždy musí pracovat na odlišných frekvencích, aby nevznikaly interference. Na Obr. 3 je vidět, jak tyto sousední buňky tvoří tzv. svazek. Svazek je typicky složen ze 7 buněk, může jich ale obsahovat i méně nebo více např. 3, 4 nebo dokonce v některých případech 12 až 20 [14]. Pokud bychom požadovali zvýšení kapacity sítě, je potřeba zvýšit hustotu buněk na požadovaném území.



Obr. 3: Příklad sektorů v buňkové síti

### 3.1 Sektorizace buněk

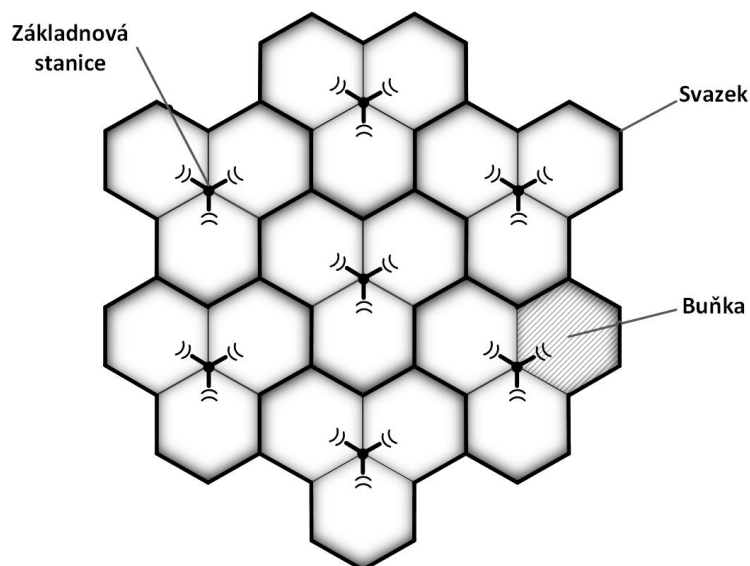
Postupem času, s přibývajícími nároky na mobilní síť a stále větším množstvím mobilních zařízení je potřeba zvyšovat i kapacitu sítě. Jak bylo zmíněno v předcházející kapitole, kapacitu sítě je možné zvýšit hustotou buněk. Toho je možné dosáhnout např. rozdělením jednoho svazku obsahující 7 buněk na Obr. 4 a) na svazek obsahující 21 menších buněk na Obr. 4 b).



Obr. 4: Porovnání svazků buněk a) 7 buněk, b) 21 buněk

S tímto krokem by ovšem vzrostl i potřebný počet základnových stanic, v tomto případě právě na 21. Z důvodu snížení potřebného počtu základnových stanic se začala používat tzv. sektorizace. Princip sektorizace je naznačen na Obr. 5.

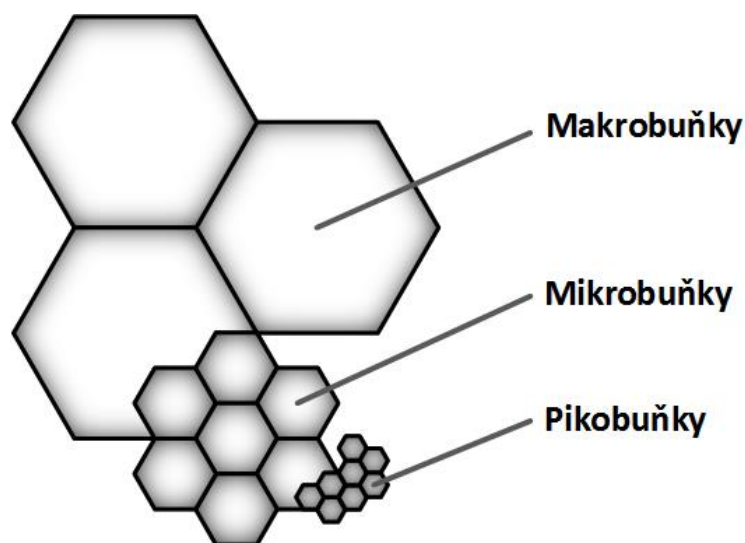
Základnové stanice se již neumísťují do středu jedné buňky, ale do společného středu tří sousedních buněk, čímž vznikne jeden sektor. Místo jedné všesměrové antény se používají 3 samostatné směrové antény. Rozdělení buňky na 3 samostatné sektory je pouze typický příklad. Ve skutečnosti je možné buňku rozdělit na 4 sektory, se 4 anténami nebo dokonce na 6 sektorů se 6 anténami [15].



Obr. 5: Síť se sektorizací

### 3.2 Velikost buněk

Velikost používaných buněk se liší v závislosti na požadované hustotě koncových stanic, tedy počtu aktivních uživatelů, které je potřeba obsloužit. V oblastech s větší hustotou je potřeba použít menších buněk a naopak z oblastech s nižší hustotou je možné použít buňky větších rozměrů. Velikost buněk je tedy závislá na typu a účelu použití v mobilním systému a lze je klasifikovat např. na makrobuňky, mikrobuňky, pikobuňky, femtobuňky a satelitní buňky [16]. Tři základní jsou zobrazeny na Obr. 6, parametry jednotlivých buněk pak v Tab. 1.



Obr. 6: Základní typy buněk

Následující odstavce zkráceně popisují výše zmíněné typy buněk.

### **Makrobuňka**

Používá se pro velké a řídké osídlené oblasti s malou hustotou provozu, jako jsou okraje měst nebo venkov. Antény pro tyto buňky se nejčastěji umísťují na pozemní stožáry nebo střechy vysokých budov. Tím se dosáhne potřebného výhledu na okolní terén. Zaměřuje se spíše na rychle se pohybující účastníky, např. auta na silnicích či dálnicích.

### **Mikrobuňka**

Používá se pro více osídlené oblasti s hustou zástavbou, jako jsou centra měst, metro, či vnitřek budov. Jelikož mají mikrobuňky menší rozměry používají se také v místech kde by bylo provozování makrobuněk obtížné a někdy i nerealizovatelné. Zaměřuje se spíše na pomalu se pohybující vozidla v městě či na chodce.

### **Pikobuňka**

Používá se pro místa s vysokou koncentrací uživatelů, jako jsou nákupní centra, nádraží, kanceláře, atd.

Dále ještě existuje speciální buňka, nazývaná **Femtobuňka**, která se používá hlavně v případech, kdy je nemožné použít výše zmiňované typy buněk. Jedná se tedy o oblasti s omezeným či žádným mobilním signálem. Femtobuňka funguje na odlišném principu než předchozí buňky, jelikož ke své činnosti potřebuje širokopásmové internetové připojení.

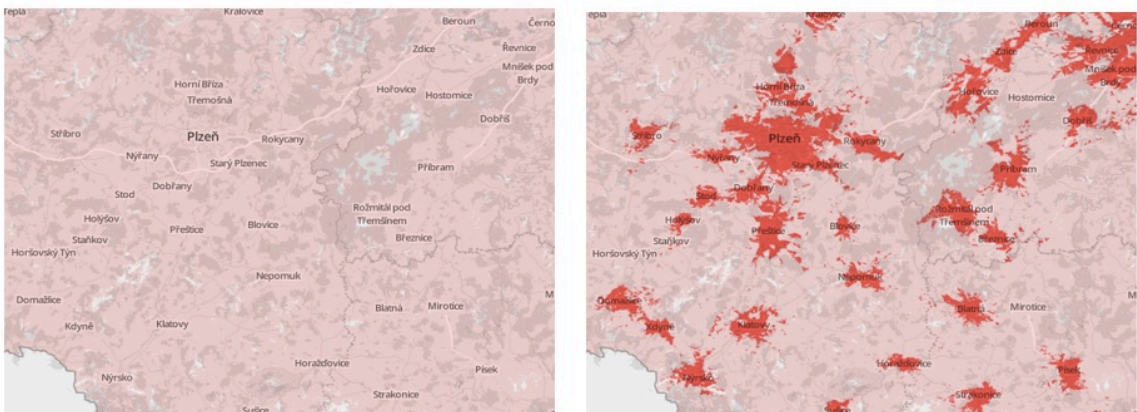
Za zmínku stojí i **satelitní buňka**, umožňující spojení i v místech, kde provoz všech předchozích buněk není možný. Jak název napovídá, je dosah signálu závislý na oběžné dráze družice a parametrech mobilního zařízení.

Typ buňky	Poloměr buňky	Vysílací výkon	Umístění	Počet aktivních uživatelů
<b>Makrobuňka</b>	10 až 40 km	40 - 100 W	venku	více než 200
<b>Mikrobuňka</b>	2 km	2 – 10 W	venku	200
<b>Pikobuňka</b>	200 m	250 mW	venku/uvnitř	32 až 100
<b>Femtobuňka</b>	10 až 50 m	20 - 100 mW	uvnitř	4 až 16

Tab. 1: Porovnání parametrů buněk [17]

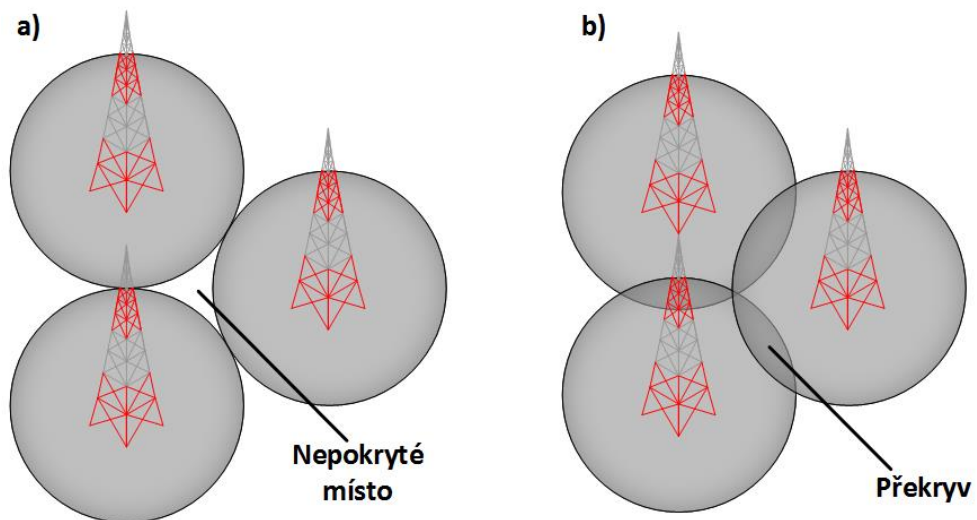
### 3.3 Překryv buněk

Na Obr. 6 je zobrazen hexagonální tvar buňky. Tento tvar je pouze zidealizovaný model pokrytí od každého vysílače, který se používá hlavně pro analýzu a plánování buňkové sítě. Reálně je tvar buňky velmi závislý na geografické struktuře okolního terénu. Tvar buňky je ve skutečnosti nepravidelný obrazec, což je vidět i na mapě pokrytí signálem ze stránek mobilního operátora Vodafone. Na Obr. 7 vlevo je pokrytí pouze 2G buňkami a na obrázku vpravo je k nim přidáno pokrytí od 3G buněk. Z mapy je také patrné, jak se buňky 2G a 3G navzájem překrývají.



Obr. 7: Reálná mapa pokrytí [18]

Pro vysvětlení překryvu budou mít oblasti pokrývané od základových stanic tvar kruhu. Na Obr. 8 a) je vidět, že pokud by se jednotlivé oblasti vzájemně nepřekrývaly, vznikaly by místa bez pokrytí. Ve skutečnosti ale nesmí vznikat žádné místa bez pokrytí, proto jednotlivé buňky jsou buď posunuty blíže k sobě nebo se zvětší jejich dosah, čímž původně nepokryté místo zanikne. Následkem toho vznikne však další jev zvaný překryv buněk. Překryv buněk je vidět na Obr. 8 b), kde oblast pokrytí od jedné buňky částečně zasahuje do oblasti pokrytí buňky druhé.



Obr. 8: Překryv buněk

Při pohybu uživatele v této oblasti má jeho mobilního zařízení dosah jak k jedné, tak k druhé buňce. O tom, ke které buňce se uživatel připojí pak rozhoduje síla přijímaného signálu poskytovaná od jednotlivých základnových stanic.

## 4. Popis scénáře

Hlavní náplní této kapitoly je detailnější popis modelu, který bude použit pro simulaci a následný rozbor výstupů.

Analýza lokalizačních a provozních záznamů ze sítě mobilního operátora bude prováděna následujícím způsobem. Z obrovského množství dat (pro některé dny až 1,5 miliónů záznamů) budou vytvořeny grafy a tabulky hodnot, poskytující, pro tuto práci důležité, přehledné výstupní informace. Budou poskytnuty informace o zastoupení jednotlivých druhů přechodů (vysvětlení přechodů mezi buňkami následuje v další podkapitole). Dále bude provedena analýza dat z pohledu původu záznamu. Cílem je dosáhnout výstupu, který blíže určuje od kolika buněk a jaké technologie (2G, 3G) vstupní data pochází. Zajímavou informací z pohledu analýzy bude i počet záznamů připadající na jednotlivé uživatele. Tyto údaje totiž později částečně poslouží i v určování překryvu buněk, což je jeden z hlavních cílů této práce. Pro určení překryvu bude nejdůležitější rozdělení vstupních dat na intervaly podle délky trvání přechodu (vysvětleno v kapitole 4.1). Intervaly budou postupně zkracovány z hodnoty 60 min. mezi přechody až na 0,5 min. Hodnoty a grafy získané tímto rozdělením poslouží k určení a analýze překryvu buněk. Neméně důležitou informací bude i počet záznamů a počet jedinečných uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu. Nakonec bude vykreslen průběh aktivity uživatelů, který přiblíží chování uživatelů z hlediska jejich aktivity v průběhu dne po celý týden.

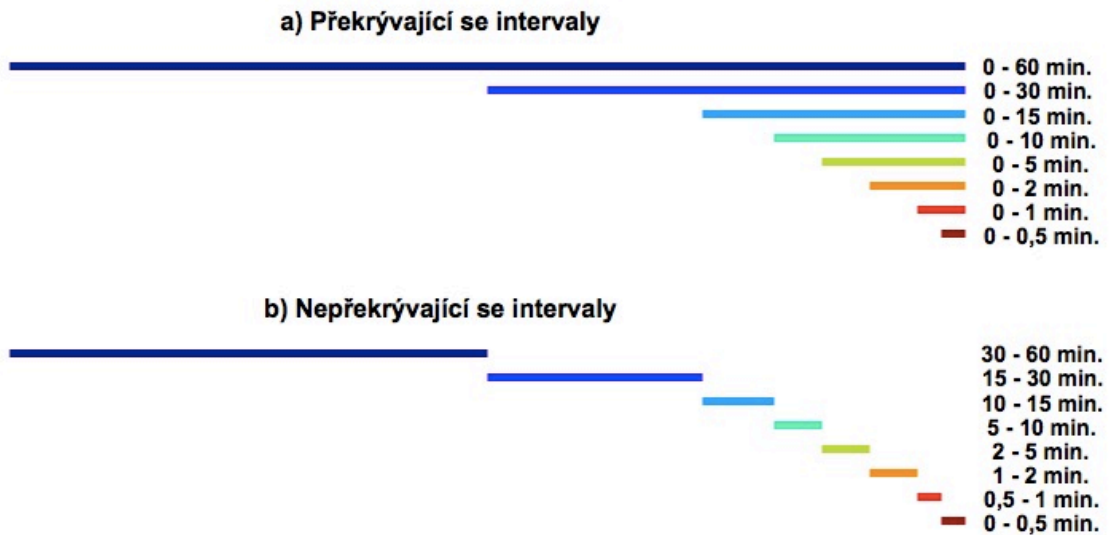
V následujících podkapitolách bude vysvětlen soubor pro tuto práci důležitých pojmů a vysvětlení struktury vstupních dat.



## 4.1 Vysvětlení pojmů:

### Překrývající se vs. nepřekrývající se intervaly

K vysvětlení pojmů "překrývající se intervaly" a "nepřekrývající se intervaly" může být použit graf na Obr. 9.



Obr. 9: Porovnání překrývajících se a nepřekrývajících se intervalů

Obr. 9 a) ukazuje překrývající se intervaly. Maximální interval mezi přechody, zobrazen tmavě modrou barvou, činí 60 min. Tento interval zahrnuje všechny přechody, které nastanou v rozmezí 0 - 60 min. (všechny záznamy). Ostatní intervaly jsou vždy podmnožinou intervalů vyšších. To znamená, že interval 0 - 30 min. je podmnožinou intervalu 0 - 60 min., interval 0 - 15 min. je podmnožinou intervalů 0 - 60 min. a 0 - 30 min., atd. Pokud tedy přechod nastane např. za 4 min., je zahrnut v intervalu 0 - 60 min., 0 - 30 min., 0 - 15 min., 0 - 10 min. a 0 - 5 min. V ostatních intervalech uvažován není.

Obr. 9 b) naproti tomu ukazuje intervaly vzájemně se nepřekrývající. Na rozdíl od předchozího případu, žádný z těchto intervalů není podmnožinou jiného. Intervaly jsou rozděleny následujícím způsobem: 0 - 0,5 min., 0,5 - 1 min., 1 - 2 min., 2 - 5 min., 5 - 10 min., 10 - 15 min., 15 - 30 min., 30 - 60 min. Uvažujme taktéž přechod, který nastane za 4. min. Tento přechod bude zahrnut pouze v intervalu 0 - 5 min. V jiném intervalu uvažován nebude.



## Jedinečný uživatel

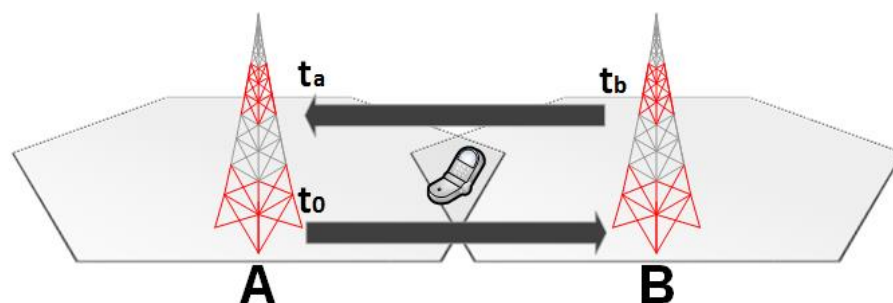
Jedinečný uživatel je každý uživatel, který má přiřazené jedinečné identifikační číslo, v záznamech značené jako UID (*User Identifier*). Jeden uživatel může mít v průběhu dne více než jeden záznam, nemluvě o počtu přechodů mezi buňkami (vysvětleno níže), kterých může být i mnohem více.

## Jedinečná buňka

Podobně jako jsou jedineční uživatelé, existují i jedinečné buňky. Všechna vstupní data ve skutečnosti pocházejí přibližně od 1500 buněk. Každá z těchto buněk má svůj specifický název a pokrývá určité geografické území. Pokud tedy bude uvažována jedinečná buňka, bude se jednat právě o buňku jedinečnou svým názvem a pozicí, nikoliv o všechny záznamy z ní pocházející.

## Přechod mezi buňkami

Hlavní náplní této diplomové práce je sledování přechodu mezi buňkami a následná analýza překryvu těchto buněk. Následující obrázek (Obr. 10) blíže vysvětluje pojem „přechod mezi buňkami“ a postup při výpočtu doby přechodu z buňky A do buňky B a obráceně.



Obr. 10: Příklad přechodu mezi buňkami

V čase  $t_0$  se uživatel zdržoval v buňce A. Poté přejde z buňky A do buňky B a je zaznamenán čas přechodu. Tento přechod je zaznamenáván v sekundách a počítán od půlnoci (např.  $t_b = 36450$  s, což odpovídá záznamu v čase 10:07:30). Z různých příčin přejde uživatel zpět do buňky A, kde je opět zaznamenán čas tohoto přechodu, značen  $t_a$  (např.  $t_a = 37200$  s, což odpovídá záznamu v čase 10:20:00). Doba, po kterou se uživatel zdržoval v buňce B, než přešel zpět do buňky A, dále jen doba přechodu, je  $t = t_a - t_b = 750$  s (12,5 min.).

## 4.2 Vstupní data

Data, se kterými je pracováno v této diplomové práci, jsou záznamy ze vstupu ústředny v pátešní síti českého mobilního operátora. Jedná se o signalizační zprávy, které byly sbírány v průběhu celého týdne. V záznamech není specifikováno, čeho se signalizační zprávy týkají. Ze všech záznamů jsou vyfiltrovány pouze ty, které splňují následující dvě podmínky.

1. Jsou zde pouze záznamy, kde se přechází z jedné buňky do druhé a zase zpět (přechod z buňky A do buňky B a zpět do buňky A). Pokud tedy bude záznam bez přechodu mezi buňkami (např. pouze v buňce A) nebo bez návratu do původní buňky (např.  $A \rightarrow B$  nebo  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ), tak se zde tento záznam neobjeví. Při přechodu z buňky A do buňky B a zpět do buňky A bude záznam na jednom řádku (v Tab. 2 řádek 1, 5 nebo 6). Když však uživatel v rámci tohoto hovoru přechází vícekrát mezi buňkami A a B bude v tabulce zaznamenán na více řádcích. V Tab. 2 je podobný přechod zaznamenán na řádku 2 až 4. Přechod vypadá takto  $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow A$  (2. řádek  $A \rightarrow B \rightarrow A$ , 3. řádek  $B \rightarrow A \rightarrow B$ , 4. řádek  $A \rightarrow B \rightarrow A$ ).

2. Tento přechod mezi buňkami netrvá delší dobu než 3600 s (1 hod., včetně).

Celkový počet záznamů (počet řádků) závisí na množství dat získaných měřením v průběhu celého dne. Tab. 2 znázorňuje příklad, jak mohou tyto záznamy vypadat.

	ID uživatele	1. buňka	Čas 1. buňky	2. buňka	Čas 2. buňky	3. buňka	Čas 3. buňky
1	765307	Buňka A	64532	Buňka B	66120	Buňka A	66294
2	796182	Buňka C	69226	Buňka D	69258	Buňka C	70407
3	796182	Buňka D	69258	Buňka C	70407	Buňka D	70415
4	796182	Buňka C	70407	Buňka D	70415	Buňka C	70855
5	804340	Buňka E	72033	Buňka F	72045	Buňka E	72090
6	804892	Buňka G	47654	Buňka H	47798	Buňka G	47898
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Tab. 2: Příklad zpracovávaných záznamů

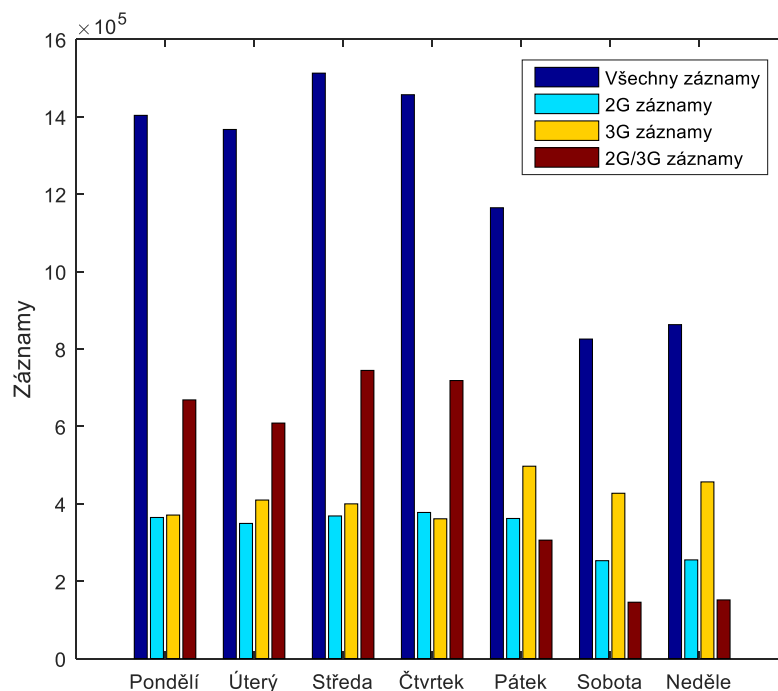
Tab. 2 je pouze příklad, nejedná se o skutečná data. ID uživatelů, jména buněk i časy přechodů mezi buňkami jsou zde kvůli zachování anonymity mobilního operátora pouze vymyšleny.

## 5. Simulace a získané výsledky

Na základě teoretického rozboru z předešlých kapitol a uvažovaného modelu následuje popis jejich praktické aplikace.

### 5.1 Zastoupení přechodů v celkovém počtu záznamů

První podkapitola poskytuje informaci o zastoupení jednotlivých druhů přechodů z celkového počtu záznamů. Porovnává kolik záznamů se týká pouze přechodů z 2G buňky do jiné 2G buňky, z 3G buňky do jiné 3G buňky a nakonec smíšených přechodů (z 2G buňky do 3G buňky, z 3G buňky do 2G buňky). Grafický přehled výše zmíněného je vykreslen na Obr. 11.



Obr. 11: Zastoupení jednotlivých přechodů v analyzovaných záznamech

2G záznamy, znázorněné světle modrým sloupcem, jsou ty, u kterých dochází pouze k přechodu z 2G buňky do jiné 2G buňky. 3G záznamy, znázorněné žlutým sloupcem, jsou ty, u kterých dochází pouze k přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky. Hnědý sloupec ukazuje počet přechodů z 2G buňky do 3G buňky nebo obráceně (oba přechody společně v jednom sloupci). Pokud by byly všechny 3 zmíněné sloupce sečteny, vznikl by tak modrý sloupec. Modrý sloupec vykresluje celkový počet záznamů, bez ohledu na to mezi kterými buňkami byl proveden přechod.

Přehled o skutečném množství záznamů je pro lepší představu k nahlédnutí v Tab. 3, kde jsou zaznamenány číselné hodnoty všech přechodů.

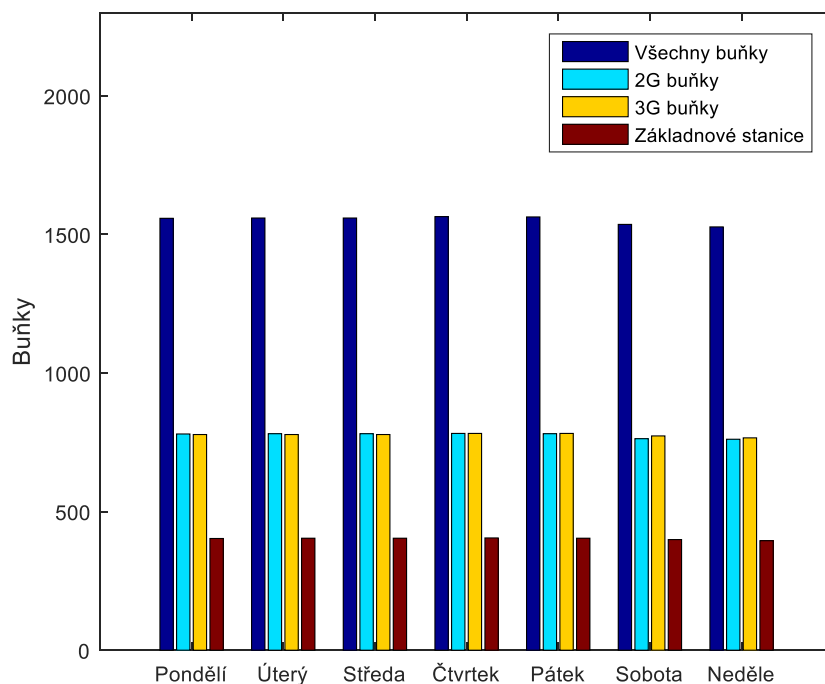
	Počet záznamů	Pouze 2G	Pouze 3G	2G i 3G
Po	1403390	364453	370698	668239
Út	1366926	349082	409506	608338
St	1512453	368380	399653	744420
Čt	1456748	377401	361063	718284
Pá	1164708	361869	496912	305927
So	825409	252860	427016	145533
Ne	862701	254872	456366	151463

Tab. 3: Přehledová tabulka počtu záznamů

Z grafu a tabulky plyne, že počet přechodů je od pondělí do čtvrtka téměř konstantní. Mírná změna nastane v pátek a pokračuje až do neděle. Změna se projeví hlavně v poklesu záznamů při přechodu z 2G buňky do 3G buňky nebo obráceně. Tento pokles velmi ovlivní i celkový počet záznamů. Mírného poklesu je možné si všimnout i u záznamů 2G (přechod z 2G buňky do jiné 2G buňky), který je ovšem vyrovnán nárůstem počtu záznamů 3G (přechod z 3G buňky do jiné 3G buňky). Je patrné, že víkendové záznamy odpovídají výskytu uživatelů v oblastech, které jsou rovnoměrně pokryté 3G signálem, což v grafu znázorňuje větší počet přechodů právě mezi 3G buňkami. Naopak záznamů pouze z 2G buněk je minimum. Smíšený přechod je o víkendu zastoupen nejméně a naopak v pracovní dny nejvíce. Tato změna může mít různé příčiny, např. častější cestování do práce, více jízd autem, autobusem a celkově zvýšený pohyb uživatelů.

## 5.2 Počet jedinečných buněk a základnových stanic

Tato sekce zobrazuje celkový počet jednotlivých buněk zahrnutých v poskytnutých analyzovaných záznamech. Udává přehled všech 2G a 3G buněk. Jak již bylo řečeno v teoretické části o sektorizaci (kapitola 3.1), jedna základnová stanice může obsahovat i více buněk. Z toho důvodu je v grafickém porovnání na Obr. 12 zahrnut i počet základnových stanic.



Obr. 12: Porovnání všech buněk s 2G, 3G buňkami a základnovými stanicemi

Každá buňka má svůj specifický název, který upřesňuje azimut, typ, nebo počet nosných, tzv. "Cell ID". Součtem světle modrého sloupce (2G buněk) a žlutého sloupce (3G buněk) vznikne tmavě modrý sloupec znázorňující všechny buňky. Hnědý sloupec zobrazuje kolik základnových stanic vystupovalo v poskytnutých záznamech. Na jedné základnové stanici se může nacházet jedna či více buněk. V tomto případě je počet základnových stanic přibližně čtvrtinový. Z vypočtených a graficky znázorněných hodnot lze předpokládat, že na jedné základnové stanici jsou průměrně 4 buňky.

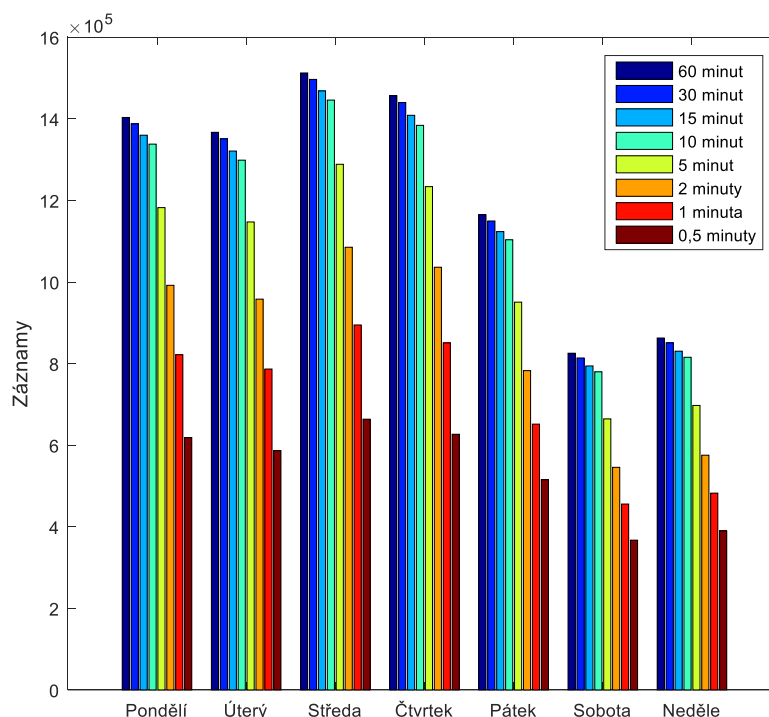
	Počet buněk	2G buňky	3G buňky	Základnové stanice
<b>Po</b>	1558	780	778	403
<b>Út</b>	1559	781	778	404
<b>St</b>	1559	781	778	404
<b>Čt</b>	1564	782	782	405
<b>Pá</b>	1563	781	782	404
<b>So</b>	1536	763	773	399
<b>Ne</b>	1527	761	766	395

Tab. 4: Přehledová tabulka počtu buněk

Z grafu a tabulky vyplývá, že počet 2G buněk je téměř stejný jako počet 3G buněk. Logicky bude počet buněk přibližně stejný ve všechny dny, jelikož se jedná o záznamy ze stejné oblasti. Menší výchyly počtu základnových stanic mohou být způsobeny přechody do buněk v okrajových částech měřeného území, ke kterým nedochází tak často. Počet základnových stanic bude z výše zmíněného důvodu vždy menší, než počet buněk.

### 5.3 Počet záznamů pro jednotlivé dny

Následuje grafický přehled (Obr. 13) o celkovém počtu zpracovávaných záznamů, vykreslených v nepřekrývajících se intervalech. Co jsou nepřekrývající se intervaly bylo vysvětleno v kapitole 4.1. Zde je možné si tyto intervaly ukázat na příkladu.

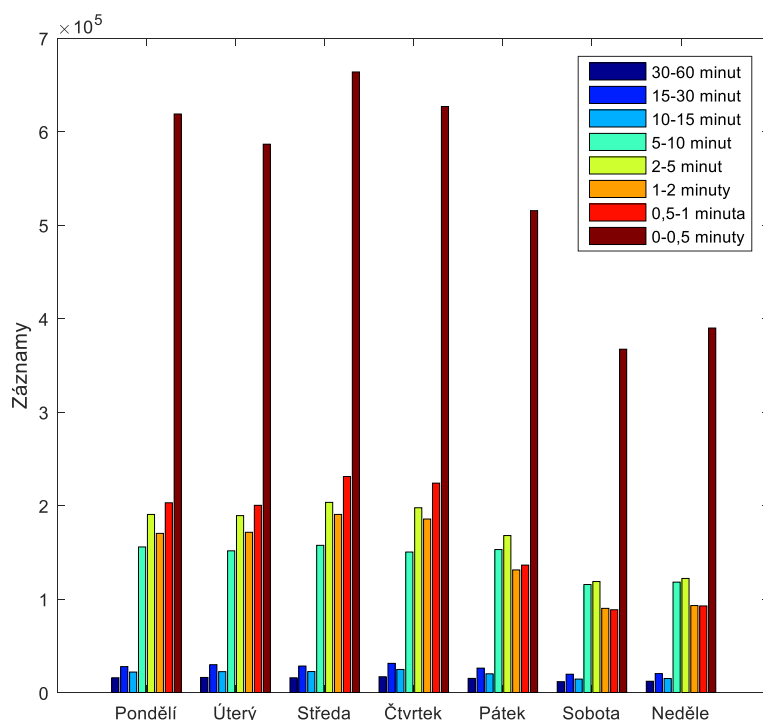


Obr. 13: Počet záznamů pro jednotlivé dny - překrývající se intervaly

Tmavě modré sloupce, s legendou "60 min.", obsahují ty záznamy u nichž je interval přechodu mezi buňkami 0 až 60 min., tedy všechny záznamy. U dalších záznamů je postupně zkracován čas přechodu mezi buňkami na 30 min., 15 min., 10 min., 5 min., 2 min., 1 min. až na 0,5 min. a jsou podmnožinou původních záznamů. Pokud by se zde nacházel záznam s časem přechodu např. 29 min., byl by zahrnut ve sloupcových grafech "60 min." a "30 min.". V dalších by již

zahrnut nebyl. Obdobným způsobem jsou vykresleny i ostatní sloupce. Je možné si povšimnout, že nejvíce záznamů se nachází v intervalu znázorněném hnědou barvou, a to je interval 0 až 0,5 min.

Pro zjištění kolik přechodů bylo např. v čase od 30 min. do 60 min., se musí od sloupce 60 min. odečíst sloupec 30 min. To znázorňuje následující graf na Obr. 14, kde se již intervaly vzájemně nepřekrývají. Intervaly mají vždy jasné ohraničení a to od 0 do 0,5 min., od 0,5 do 1 min., od 1 do 2 min., od 2 do 5 min., od 5 do 10 min., od 10 do 15 min., od 15 do 30 min. a nakonec od 30 do 60 min.



Obr. 14: Počet záznamů pro jednotlivé dny - nepřekrývající se intervaly

Na tomto grafu je výše zmíněná převaha záznamů do 0,5 min. daleko více patrná. Drtivá většina záznamů tvoří intervaly, kde je čas přechodu mezi buňkami do 10 min. Po 10 min. dochází k velkému propadu hodnot.

Pro lepší představu o skutečných hodnotách poslouží Tab. 5.



	0 - 0,5 min.	0 - 1 min.	0 - 2 min.	0 - 5 min.	0 - 10 min.	0 - 15 min.	0 - 30 min.	0 - 60 min.
Po	618763	821699	991889	1182338	1338017	1359882	1387592	1403390
Út	586450	786651	958011	1147197	1298732	1321042	1350816	1366926
St	663710	894740	1085207	1288578	1445980	1468398	1496697	1512453
Čt	626743	850670	1036216	1233811	1384050	1408692	1439863	1456748
Pá	515382	651633	782753	950623	1103531	1123540	1149614	1164708
So	367171	455694	545689	664362	779874	794241	813789	825409
Ne	389830	482425	575432	697428	815479	830427	850675	862701

Tab. 5: Počet záznamů pro jednotlivé dny v překrývajících se intervalech

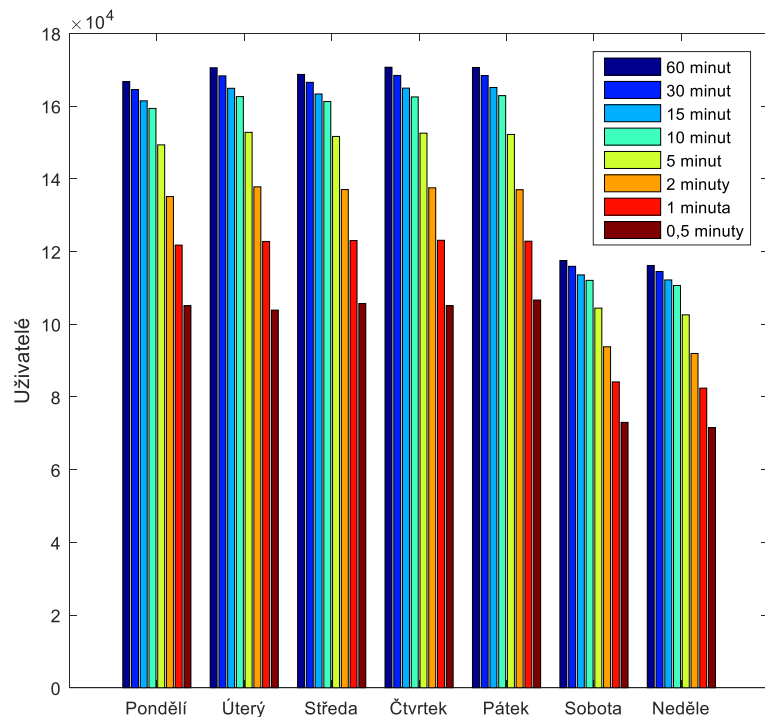
V této tabulce jsou reálné hodnoty získaných záznamů rozděleny do překrývajících se intervalů.

## 5.4 Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny

Podobně jako v předchozí podkapitole, je i v této nejprve graf vykreslen v překrývajících se intervalech, následovaný grafem s nepřekrývajícími se intervaly a nakonec přehledová tabulka. Nejedná se již o všechny záznamy přechodů, ale o jedinečné uživatele. Pojem jedinečný uživatel byl vysvětlen v kapitole 4.1. Pro připomenutí je dobré zdůraznit, že v předchozí kapitole mohl mít uživatel i mnohem více než jeden záznam. V této kapitole se nebere ohled na to kolik záznamů skutečně uživatel má, je vždy v uvažovaných intervalech počítán pouze jednou. Tím bude zjištěn počet aktivních uživatelů v jednotlivé dny a jednotlivé intervaly.

Obr. 15 zobrazuje grafický přehled celkového počtu jedinečných uživatelů v překrývajících se intervalech v průběhu jednoho týdne. Tyto intervaly jsou opět rozděleny následovně 0 až 0,5 min., 0 až 1 min., 0 až 2 min., 0 až 5 min., 0 až 10 min., 0 až 15 min., 0 až 30 min. a 0 až 60 min.

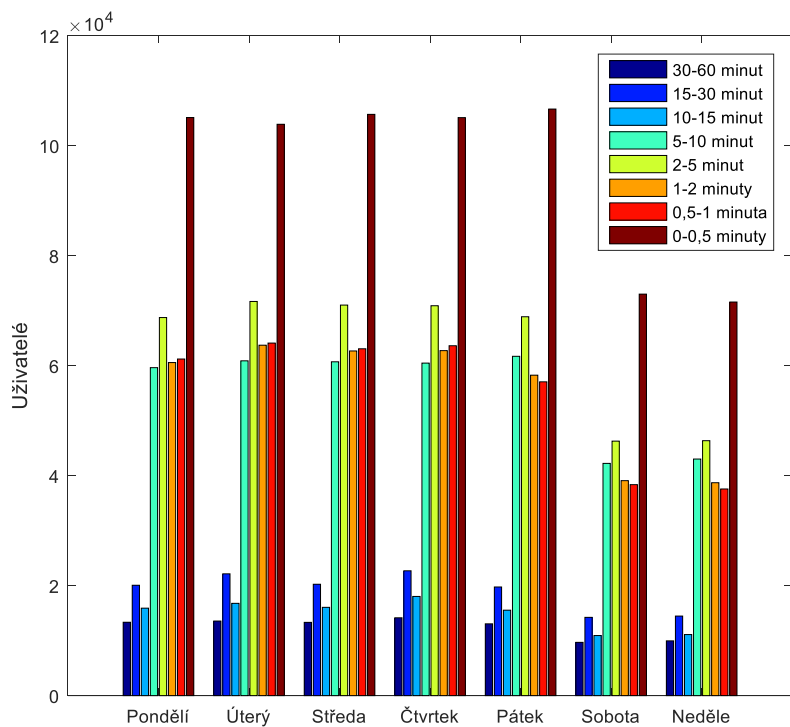
Nejvíce uživatelů, podobně jako záznamů v předchozí kapitole, se nachází v intervalu znázorněným hnědým sloupcem, tedy do 0,5 min. Po 10 min. opět nastává značný pokles.



Obr. 15: Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny - překrývající se intervaly

Počet jedinečných uživatelů v nepřekrývajících se intervalech vykresluje

Obr. 16.



Obr. 16: Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny - nepřekrývající se intervaly

Zde je převaha intervalu přechodu mezi buňkami do 0,5 min. vidět názorněji. Je možno si povšimnout zmiňovaného poklesu po 10 min. Pro porovnání reálných hodnot jedinečných uživatelů, rozdělených do překrývajících se intervalů poslouží přehledová tabulka (Tab. 6).

	0 - 0,5 min.	0 - 1 min.	0 - 2 min.	0 - 5 min.	0 - 10 min.	0 - 15 min.	0 - 30 min.	0 - 60 min.
Po	105097	121757	135105	149336	159358	161445	164561	166714
Út	103875	122769	137794	152779	162612	164894	168315	170551
St	105678	123014	137043	151654	161258	163336	166534	168712
Čt	105089	123085	137517	152550	162518	164942	168431	170686
Pá	106644	122837	136994	152202	162878	165119	168409	170625
So	72996	84134	93793	104422	112061	113573	115927	117513
Ne	71557	82423	91950	102571	110648	112176	114484	116159

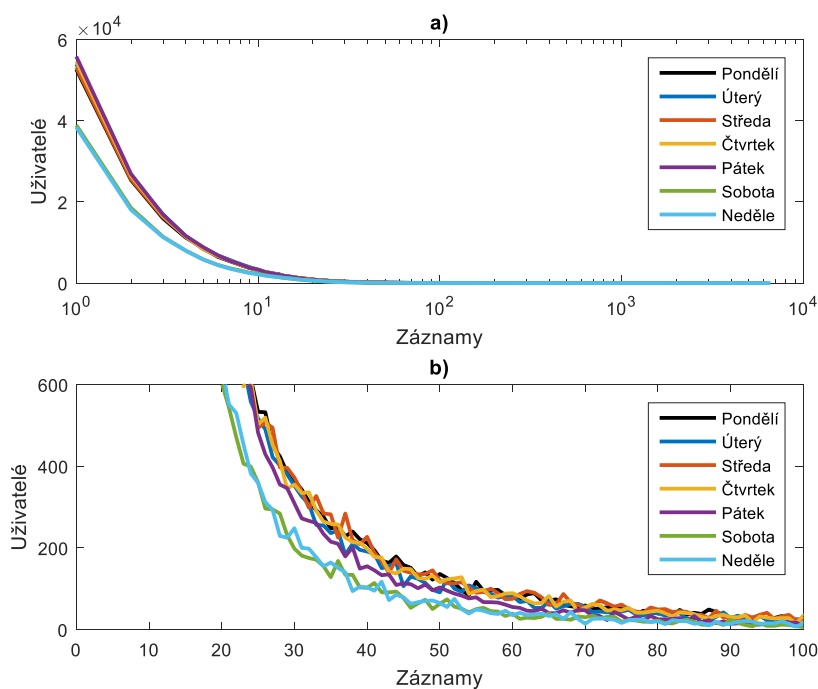
Tab. 6: Počet jedinečných uživatelů pro jednotlivé dny v překrývajících se intervalech

Při porovnání této tabulky s tabulkou z předchozí sekce (Tab. 5), je vidět, že počet hodnot je mnohem nižší. To je způsobeno tím, že již nejsou uvažovány všechny záznamy, ale pouze jedineční uživatelé. Je možné si snadno odvodit průměrný počet záznamů na jednoho uživatele. Od pondělí do čtvrtka vychází přibližně 8 až 9 záznamů na jednoho uživatele. Jak se dá očekávat, od pátku do neděle je počet záznamů nižší, konkrétně 7 záznamů na jednoho uživatele.

## 5.5 Počty záznamů připadající na určitý počet uživatelů

Každý uživatel může mít v průběhu dne více než jeden záznam (blíže vysvětleno v kapitole 4.1). V této sekci bude provedena analýza počtu záznamů, připadající na určitý počet uživatelů. Např. 50 uživatelů má 20 záznamů, 51 uživatelů má 48 záznamů, atd. Analýza bude nejprve provedena pro záznamy všech přechodů, k tomu poslouží graf na Obr. 17. Následovat bude rozdělení na záznamy přechodů pouze z 3G buňky do jiné 3G buňky (Obr. 18), záznamy přechodů z 2G buňky do jiné 2G buňky (Obr. 19) a nakonec záznamy přechodů z 2G buňky do 3G buňky a obráceně (Obr. 20). U každého z těchto záznamů jsou vždy dva grafy, kde graf a) zobrazuje průběh všech dat. Jelikož jsou zde i obrovské výchyly od průměrných hodnot, stává se graf velmi nepřehledný. Kvůli

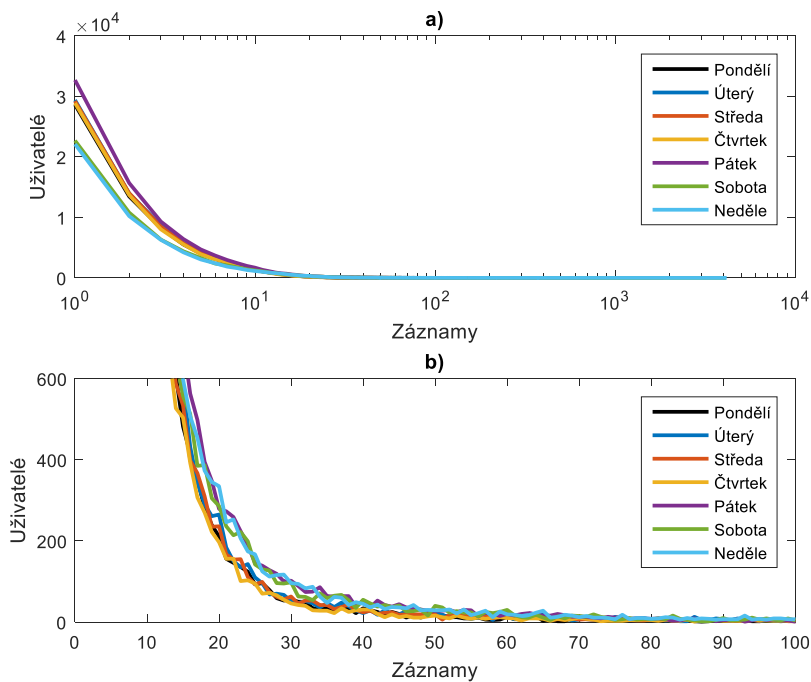
lepší přehlednosti je tento graf vykreslen v logaritmickém měřítku. Z toho důvodu bude zaveden další graf - b), který je přiblížený k průměrným hodnotám (jsou zde ořezaná minima a maxima). Následuje vykreslení hodnot všech přechodů, tedy graf na Obr. 17.



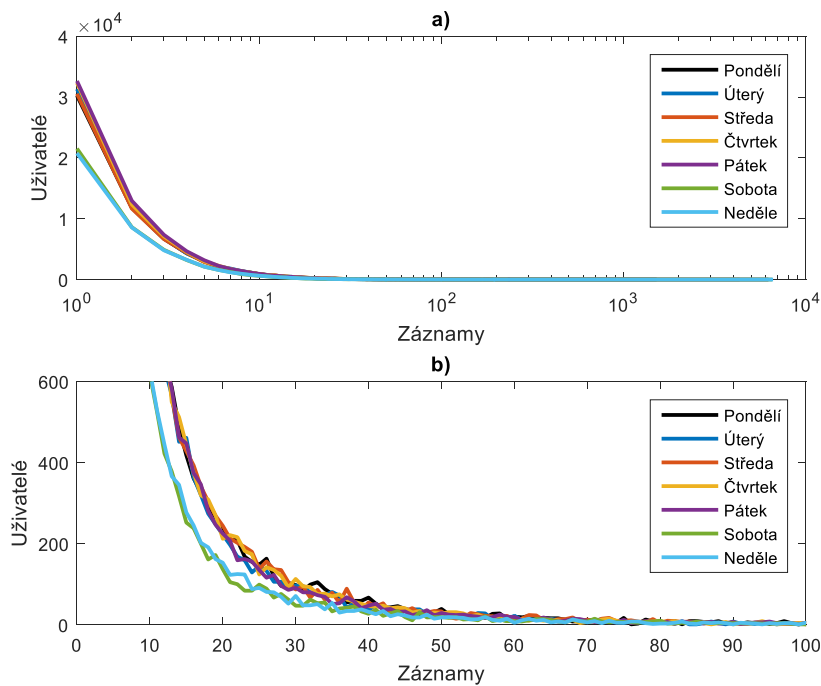
Obr. 17: Počet všech záznamů připadající na určitý počet uživatelů

Se zvyšujícím se počtem záznamů klesá počet uživatelů mající tento konkrétní počet. Nejvíce, přibližně 60 tisíc uživatelů, má pouze jeden záznam a naopak zde jeden uživatel má i více než 50 tisíc záznamů. Průměrné hodnoty jsou přiblíženy na Obr. 17 b). Průběh je velmi podobný pro všechny dny. Mírný pokles hodnot nastane pouze o víkendu.

Následující graf (Obr. 18) je zaměřen pouze na záznamy, kdy dochází k přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky. Další v pořadí je graf zaměřující se na záznamy vzniklé přechodem uživatelů z 2G buňky do jiné 2G buňky (Obr. 19).



Obr. 18: Počet 3G záznamů připadající na určitý počet uživatelů

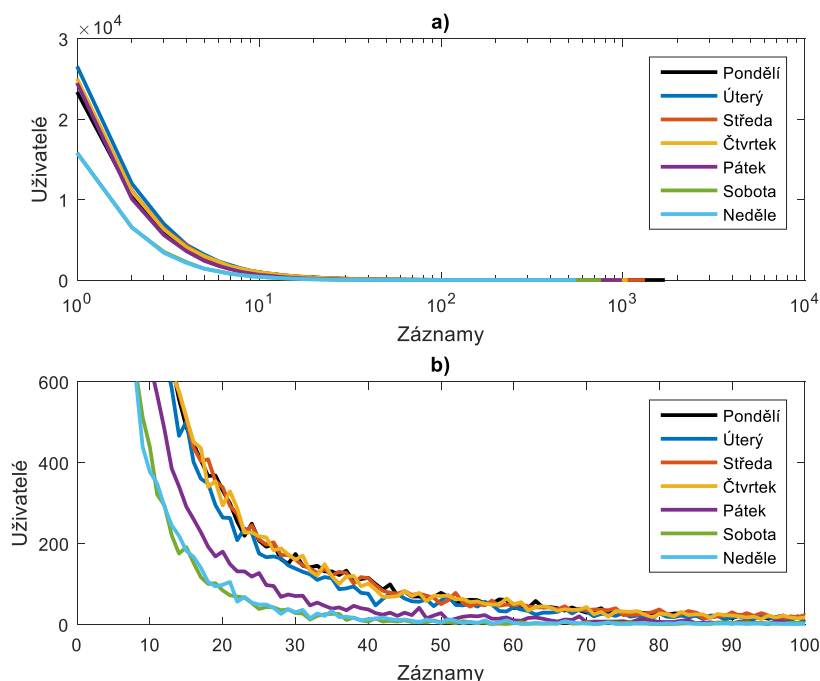


Obr. 19: Počet 2G záznamů připadající na určitý počet uživatelů

Průběhy na Obr. 18 jsou velmi podobné předchozímu grafu, není tu však znatelný velký pokles o víkendu. Maximální a minimální hodnoty jsou nižší, jelikož pracujeme s menším počtem vstupních dat. Nejvíce uživatelů má opět pouze jeden záznam (přibližně 33 tisíc), ale nachází se zde jeden uživatel, který má až 30 tisíc záznamů.

U přechodu mezi 2G buňkami (Obr. 19) má jeden záznam kolem 33 tisíc uživatelů. Tato hodnota se od záznamů přechodů z 3G buňky do jiné 3G buňky téměř neliší. U těchto přechodů však jeden uživatel dosahuje hodnoty až kolem 50 tisíc záznamů. Stejná hodnota byla i na grafu všech přechodů (Obr. 17). Z toho je možné odvodit, že na obou grafech je tato výchylna způsobena stejným uživatelem. U těchto grafů je také pozorovatelný mírný pokles hodnot v sobotu a neděli.

Posledním v této podkapitole je graf vykreslující záznamy vzniklé přechodem uživatelů z 2G buňky do 3G buňky nebo z 3G buňky do 2G buňky (Obr. 20).



Obr. 20: Počet záznamů z 2G do 3G a z 3G do 2G připadající na určitý počet uživatelů

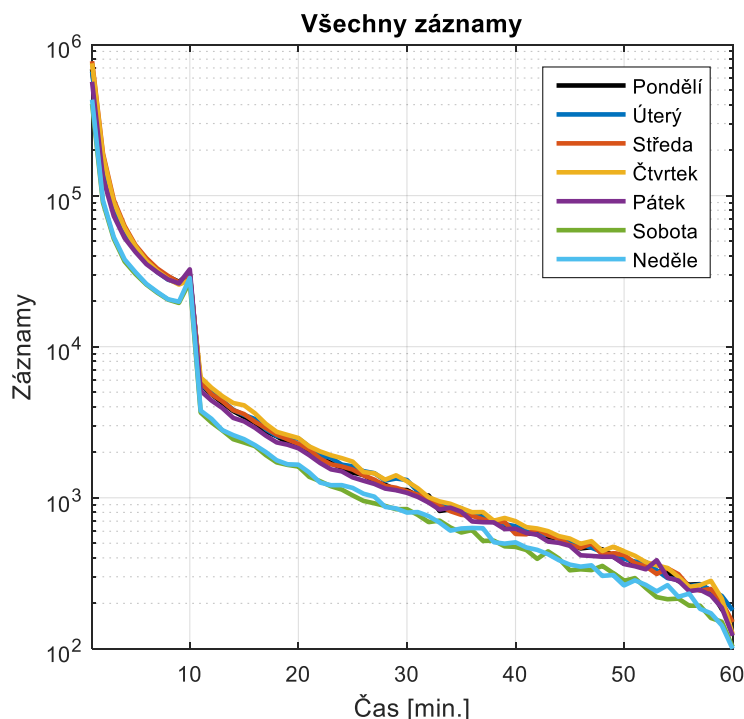
Zde jsou maximální hodnoty o něco nižší než v předcházejících grafech. Přibližně 26 tisíc uživatelů má pouze jeden záznam a naproti tomu dosahuje počet záznamů u jednoho uživatele až 11 tisíc. Víkendové hodnoty opět dosahují nižších hodnot ve srovnání s hodnotami v pracovní dny.

## 5.6 Počet záznamů v závislosti na délce trvání přechodu

Následující grafy zobrazují počet záznamů v závislosti na tom, po jaké době dojde k přechodu do jiné buňky. Od této podkapitoly dále budou již

rozlišovány i přechody z 2G buňky do 3G buňky a z 3G buňky do 2G buňky. V předchozích sekcích nebylo důkladnější rozdělení důležité a přechod z 2G buňky do 3G buňky a obráceně byl uvažován společně. Od této sekce je ovšem pro ještě přesnější analýzu další dělení potřebné. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2, je pracováno pouze s daty, kde je maximální doba přechodu mezi buňkami rovna jedné hodině. Vzorky do následujících grafů jsou odebírány po minutových intervalech. Pro detailnější vysvětlení poslouží následující příklad. Jeden uživatel uskuteční přechod mezi buňkami v čase 10 s. Druhý uživatel přejde až za 55 s. Oba tyto záznamy budou ovšem započteny v intervalu 0 - 1 min. Stejným způsobem je to i v ostatních intervalech.

Graf na Obr. 21 souhrnně zobrazuje počet všech uživatelů, tedy těch co přecházejí z 2G buňky do jiné 2G buňky, z 3G buňky do jiné 3G buňky, z 2G buňky do 3G buňky a naopak. Rozdělení na jednotlivé druhy přechodů pak zobrazují Obr. 22 a Obr. 23.

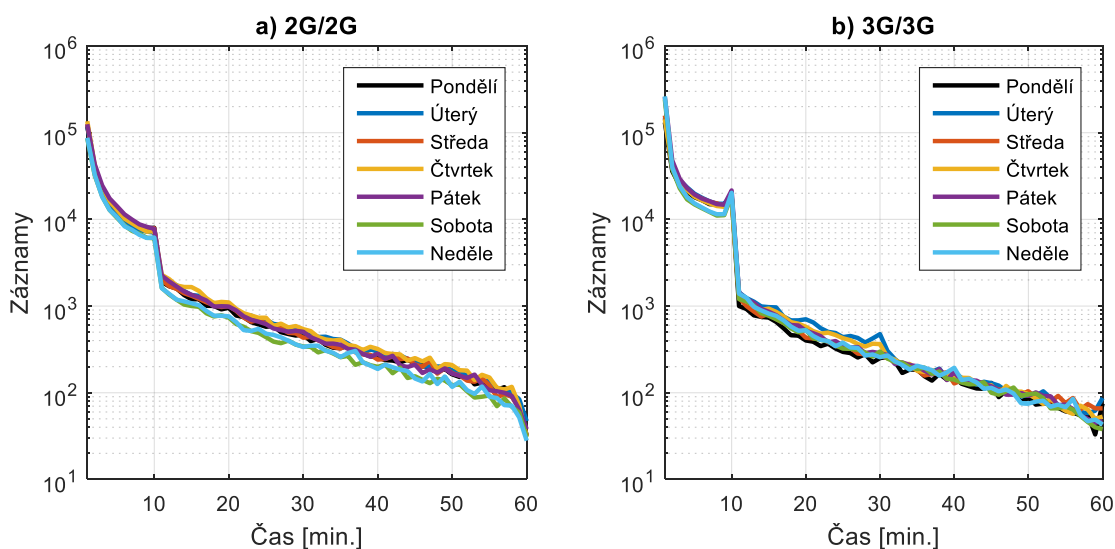


Obr. 21: Počet všech záznamů v závislosti na délce trvání přechodu

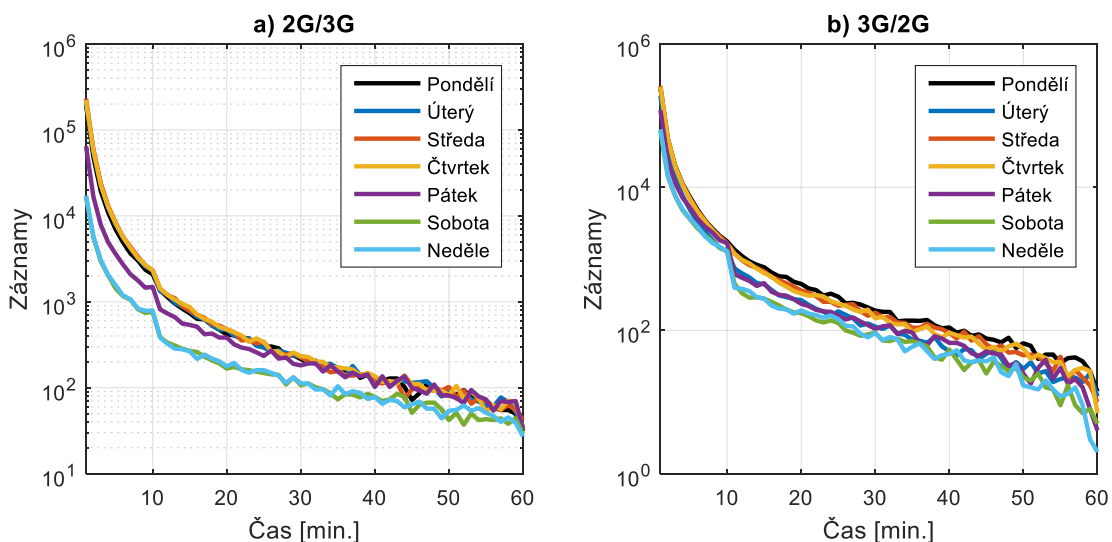
Z grafu na Obr. 21 je patrné, že s rostoucí časovou hodnotou délky přechodu klesá počet uživatelů přecházejících do jiné buňky. Nejvíce uživatelů změní obsluhující buňku do 10 min. Po této hodnotě dojde k velkému poklesu. Maximální a minimální hodnoty jsou závislé také na dnech měření. Hodnoty jsou

si však velmi podobné a to hlavně ve všední dny a jen mírně se liší o víkendu, kdy dojde k poklesu.

Dále jsou tyto záznamy rozebrány pouze při přechodu z 2G buňky do jiné 2G buňky (Obr. 22 a), z 3G buňky do jiné 3G buňky (Obr. 22 b), z 2G buňky do 3G buňky (Obr. 23 a) a nakonec z 3G buňky do 2G buňky (Obr. 23 b).



Obr. 22: Počet záznamů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 2G b) z 3G do 3G



Obr. 23: Počet záznamů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 3G b) z 3G do 2G

Tyto grafy jsou svým průběhem velmi podobné grafu na Obr. 21, nejsou zde ovšem uvažované všechny hodnoty. Počet hodnot pro vykreslení grafů je tedy nižší. Jelikož je pracováno s menším počtem hodnot budou i maximální a minimální hodnoty nižší. Vyskytuje se zde stejný úkaz jako při předchozím grafu, čímž je značný pokles přechodů uživatelů mezi buňkami po desáté minutě. Při



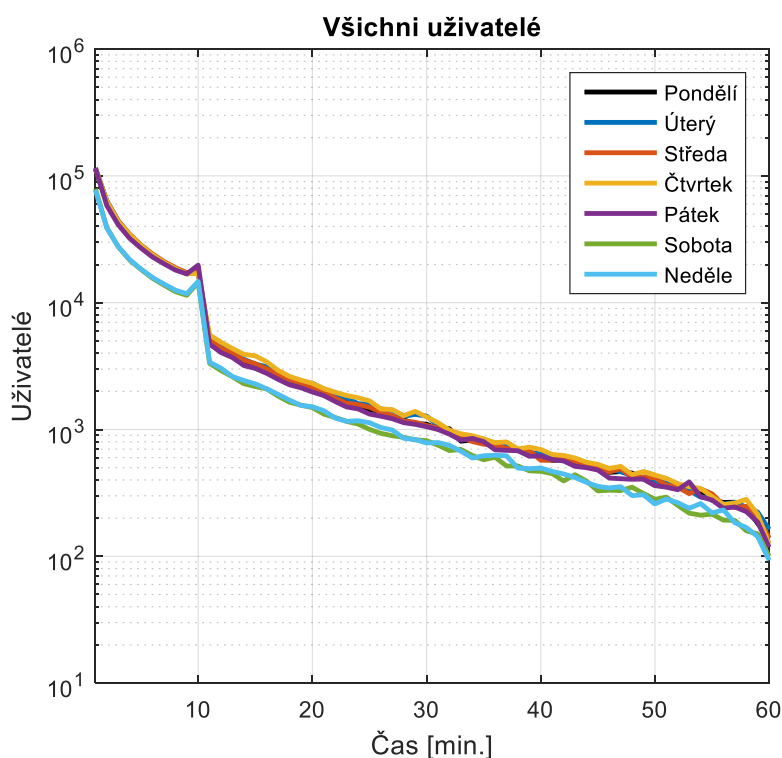
porovnání Obr. 22 a) s Obr. 22 b) je zřejmé, že u Obr. 22 b), tedy přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky, je nárůst hodnot před 10. min., následovaný velkým poklesem daleko značnější než u přechodu z 2G buňky do 2G buňky.

U grafů na Obr. 23 a) a Obr. 23 b) je méně patrný propad hodnot po 10. min. Zajímavé také je, že u přechodů z 3G buňky do 2G buňky tento pokles nenastává (nebo je nepozorovatelný) v pondělí, středu a čtvrtek. U přechodů z 2G buňky do 3G buňky pokles nastává ve všechny dny, ale je znatelněji menší, než v předchozích grafech.

Zhodnocením všech grafů je možné dojít k závěru, že nárůst hodnot před 10. min. a následným poklesem je největší při přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky, kde hodnoty klesnou o více než jeden řád. Tento graf poté ovlivňuje i graf na Obr. 21, který sjednocuje všechny následující grafy. Bohužel z dostupných dat není možné přesně vysvětlit čím je tento jev způsoben. K detailnější příčině by dopomohly komplexnější informace k poskytnutým analyzovaným datům. Např. oblast, ve které sběr dat probíhal nebo který týden v roce se to odehrávalo. Zdali to bylo období vánoc, nějaké kulturní akce anebo v běžném týdnu. Zda se jedná o nějaké obchodní centrum nebo třeba kanceláře. Dá se pouze domnívat, že pokles může být způsoben např. velkou koncentrací uživatelů v místě překryvu buněk.

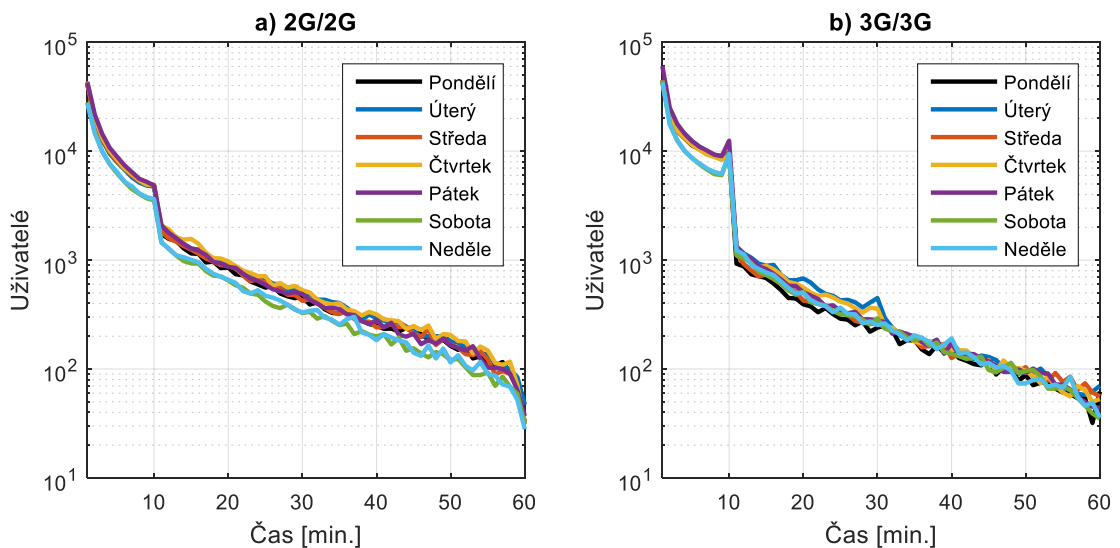
## 5.7 Počet jedinečných uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu

Grafy v této podkapitole jsou velmi podobné grafům z podkapitoly 5.6. Místo všech záznamů jsou však uvažováni pouze jedineční uživatelé (každý uživatel má pouze jeden záznam). Vzorky do grafu jsou odebírány stejným způsobem, tedy po minutových intervalech.

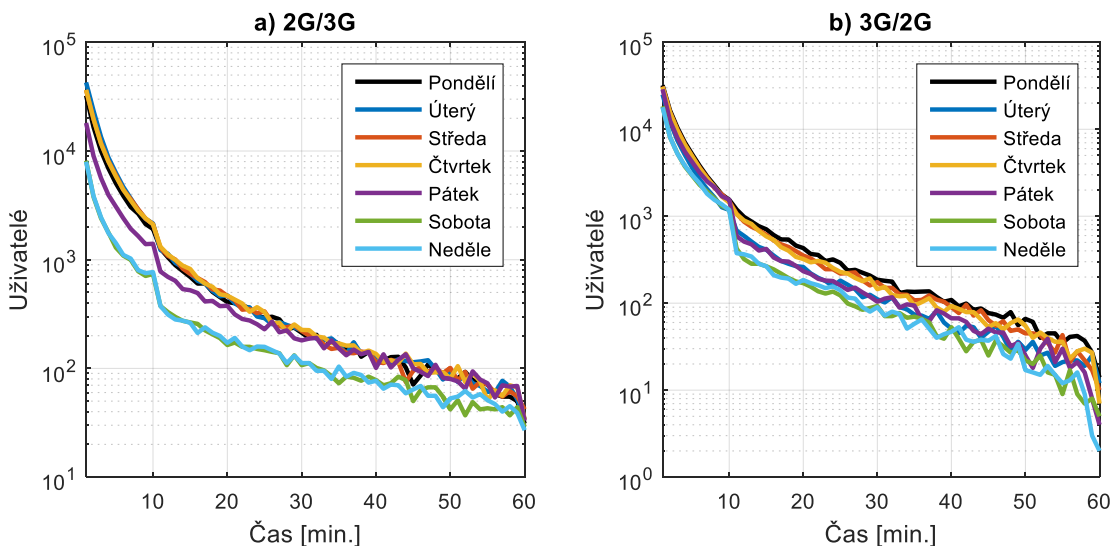


Obr. 24: Počet všech uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu

Graf na Obr. 24 souhrnně zobrazuje počet všech uživatelů, tedy těch co přecházejí z 2G buňky do jiné 2G buňky, z 3G buňky do jiné 3G buňky, z 2G buňky do 3G buňky a z 3G buňky do 2G buňky. Rozdělení na tyto jednotlivé přechody pak následuje na Obr. 25 a Obr. 26. Průběhy budou velmi podobné jako v předchozí kapitole. Jelikož už není pracováno se všemi záznamy, ale pouze s jedinečnými uživateli, bude zde počet hodnot přibližně o jeden řád nižší. Jak se dalo očekávat, průběh má klesající charakter a opět dochází k nárůstu hodnot před 10. min., následovaným značným poklesem po 10. min.



Obr. 25: Počet uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 2G b) z 3G do 3G



Obr. 26: Počet uživatelů v závislosti na délce trvání přechodu: a) z 2G do 3G b) z 3G do 2G

Grafy na Obr. 25 a Obr. 26 mají dle očekávání klesající charakter. S nárůstem časové hodnoty klesá počet uživatelů. Vyskytuje se podobný jev jako v předchozí podkapitole (5.6), tedy nárůst hodnot před 10. min. a značný pokles hodnot po 10. min.

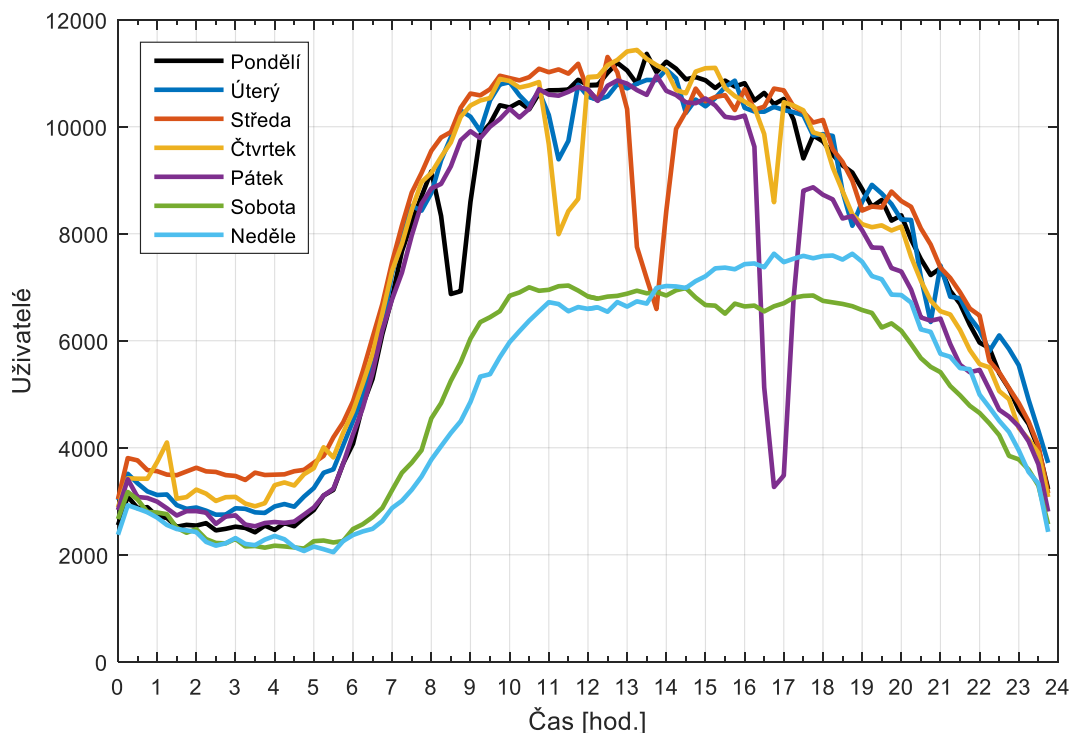
Graf na Obr. 25 vykresluje pouze přechody a) z 2G buňky do jiné 2G buňky a b) z 3G buňky do jiné 3G buňky. Výraznější pokles hodnot lze pozorovat i u grafu na Obr. 25 b), tedy u přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky. Na Obr. 26 jsou vykresleny pouze přechody a) z 2G buňky do 3G buňky a b) z 3G buňky do 2G buňky. Zmiňovaný pokles je u těchto grafů znatelně menší. U grafů v této sekci se pokles vyskytuje ve všech uvažovaných dnech. Z průběhů je však

možné odvodit závěr, že převážný podíl na tom mají přechody mezi stejnými buňkami, nejvíce z 3G buňky do jiné 3G buňky.

## 5.8 Aktivita uživatelů v průběhu dne

V této podkapitole bude provedena analýza vstupních dat z pohledu aktivity uživatelů po čas celého dne od pondělí až do neděle.

Úvodní graf na Obr. 27 slouží spíše pro celkový přehled. Detailnější grafy budou následovat. Vzorky pro tento graf jsou odebírány v 15 min. intervalech a to následujícím způsobem. Vyberou se data spadající do určitého intervalu, provede se jejich sumarizace a následné vykreslení. Pro snadnější pochopení tohoto postupu je uveden velmi zjednodušený příklad, kde jsou uvažovány tyto 4 záznamy: 1. uživatel s přechodem do jiné buňky v čase  $t_1 = 120$  s od půlnoci (2 min.) 2. uživatel s časem  $t_2 = 300$  s od půlnoci (5 min.), 3. uživatel s časem  $t_3 = 630$  s od půlnoci (10,5 min.) a 4. uživatel s časem  $t_4 = 960$  s od půlnoci (16 min.). První 3 uživatelé provedli přechod v intervalu 0 - 15 min. Bude tedy provedena jejich sumarizace a vykreslení v tomto intervalu. 4. uživatel bude uvažován až v následujícím intervalu 15 - 30 min. (tzn. 3 uživatelé byli aktivní v intervalu 0 - 15 min. a 1 uživatel v intervalu 15 - 30 min.). Stejným postupem jsou data zpracována pro každý den po čas celého týdne. Dále je potřeba zmínit, že v každém intervalu je počítáno s jedinečnými uživateli a každý uživatel může mít v daném intervalu pouze 1 záznam. Pokud by např. v intervalu 15 - 30 min. měl uživatel 3 záznamy, bude stejně započítán pouze jednou.

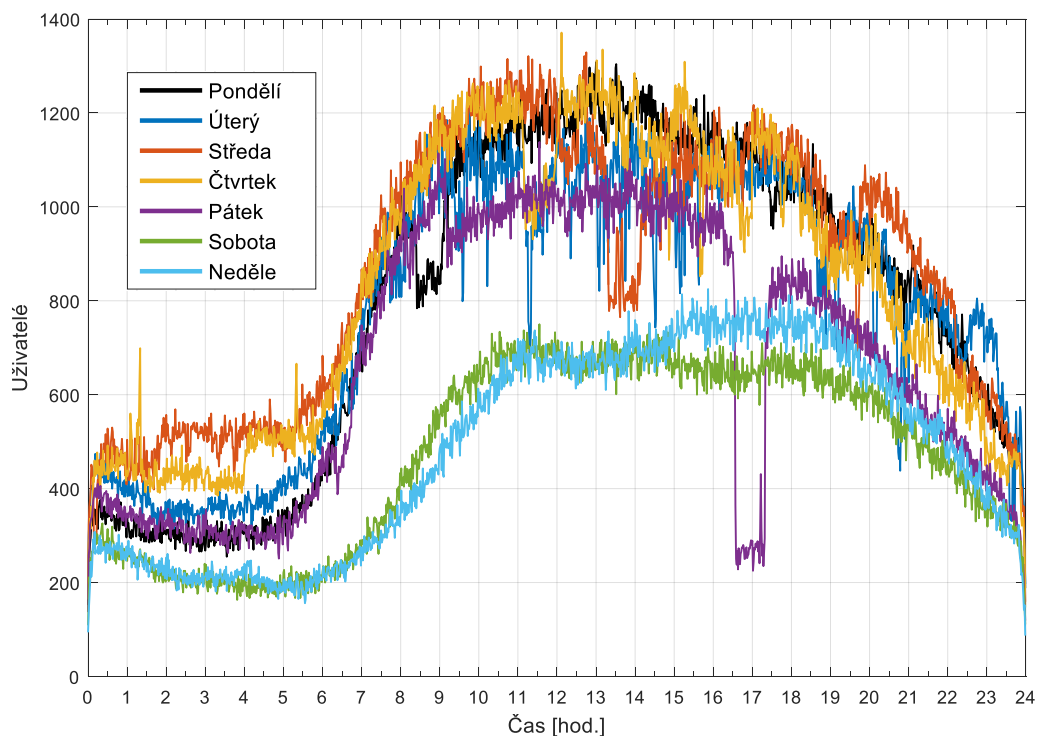


Obr. 27: Aktivita jedinečných uživatelů v průběhu celého týdne (15 min. vzorky)

Od půlnoci přibližně do 6 hod., kdy většina uživatelů spí, je aktivita nejnižší. Vyšší aktivity je dosaženo v pracovní hodiny, tedy přibližně od 8 do 17 hod. Maxima je však dosaženo kolem poledne, mezi 11 - 13 hod. Průběhy jednotlivých dnů jsou srovnatelné. Výjimkou jsou víkendové dny, kdy se ale menší mobilní aktivita dá očekávat. Mimo pracovní dny je totiž pohyb uživatelů znatelně menší, jelikož lidé necestují do práce a daleko méně využívají své mobilní telefony.

Téměř každý den (kromě víkendu) nastane značný, přibližně hodinu trvající, pokles. Zajímavé je, že tento jev není pravidelný a nastává každý den v jinou hodinu. Někdy dokonce vícekrát za den.

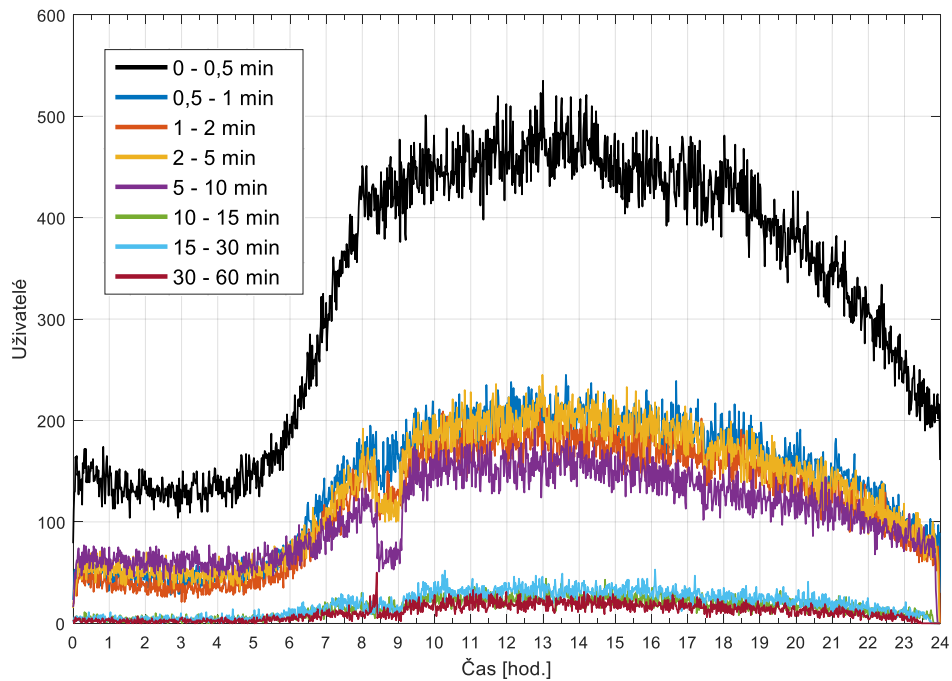
Méně přehledný, avšak z pohledu analýzy přesnější, graf následuje na Obr. 28. Přesnější jelikož jsou zde vzorky odebírány v minutových intervalech, namísto 15 min., jak tomu bylo u grafu na Obr. 27.



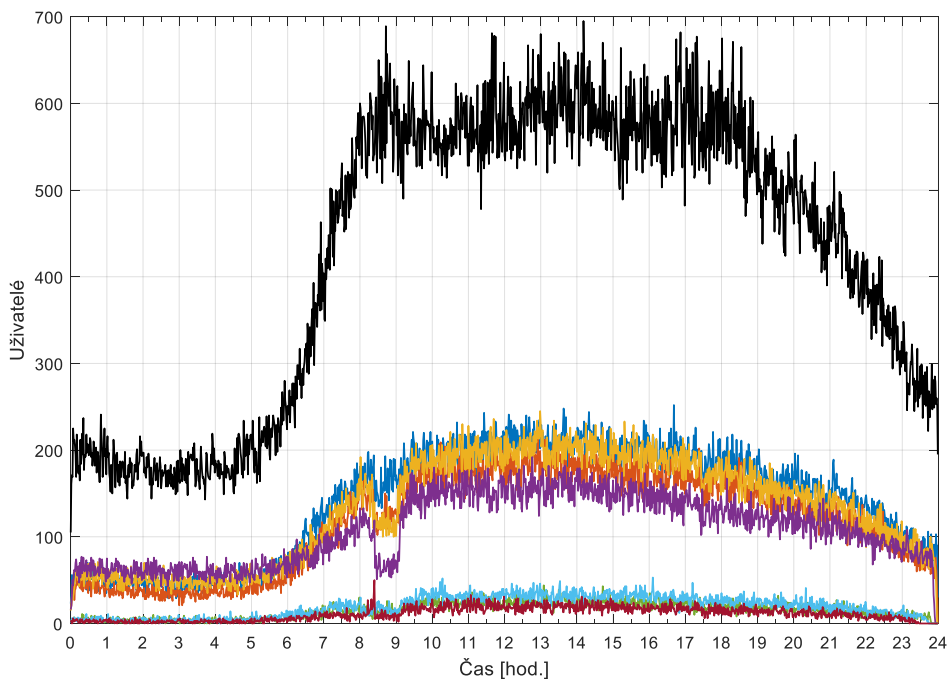
Obr. 28: Aktivita jedinečných uživatelů v průběhu celého týdne (1 min. vzorky)

Nejdříve je dobré vysvětlit, že jelikož jsou vzorky odebírány po minutových intervalech, je v jednotlivých intervalech nasčítáno méně hodnot. U 15 min. intervalů bylo v rámci každého intervalu nasčítáno hodnot více a ty byly následně proloženy. Z toho důvodu se hodnoty uživatelů liší. Vypovídající hodnota je však stejná.

Občasné, přibližně hodinové poklesy se vyskytují i v tomto grafu. Bohužel z dostupných informací, ani těchto grafů zatím není možné zjistit čím je pokles způsoben. Kvůli lepšímu pochopení těchto poklesů bude dále provedena detailnější analýza grafu na Obr. 28. Pro důkladnější analýzu nebude již rozebírán průběh pro celý týden, ale pouze jeden den - pondělí (grafy na Obr. 29 až Obr. 32). Vzorky pro všechny následující průběhy budou opět odebírány v minutových intervalech.



Obr. 29: Aktivita jedinečných uživatelů v pondělí - nepřekrývající se intervaly



Obr. 30: Aktivita uživatelů (všechny záznamy) v pondělí - nepřekrývající se intervaly

Na Obr. 29 je původní graf (Obr. 28 - pouze pondělní průběh) rozdělen na nepřekrývající se intervaly. Nejvíce aktivních uživatelů je v intervalu 0 – 0,5 min. Zajímavé je, že v tomto intervalu není žádný viditelný pokles, oproti ostatním. Čím je to způsobeno je zkoumáno dále v této kapitole. Opět jsou uvažováni pouze jedineční uživatelé (každý uživatel může mít v daném intervalu pouze jeden záznam). Jedná se však o záznamy všech přechodů, tedy přechody z 2G

buňky do jiné 2G buňky, z 3G buňky do jiné 3G buňky, z 2G buňky do 3G buňky a z 3G buňky do 2G buňky. Zaměření na jednotlivé druhy bude následovat na Obr. 31 a Obr. 32.

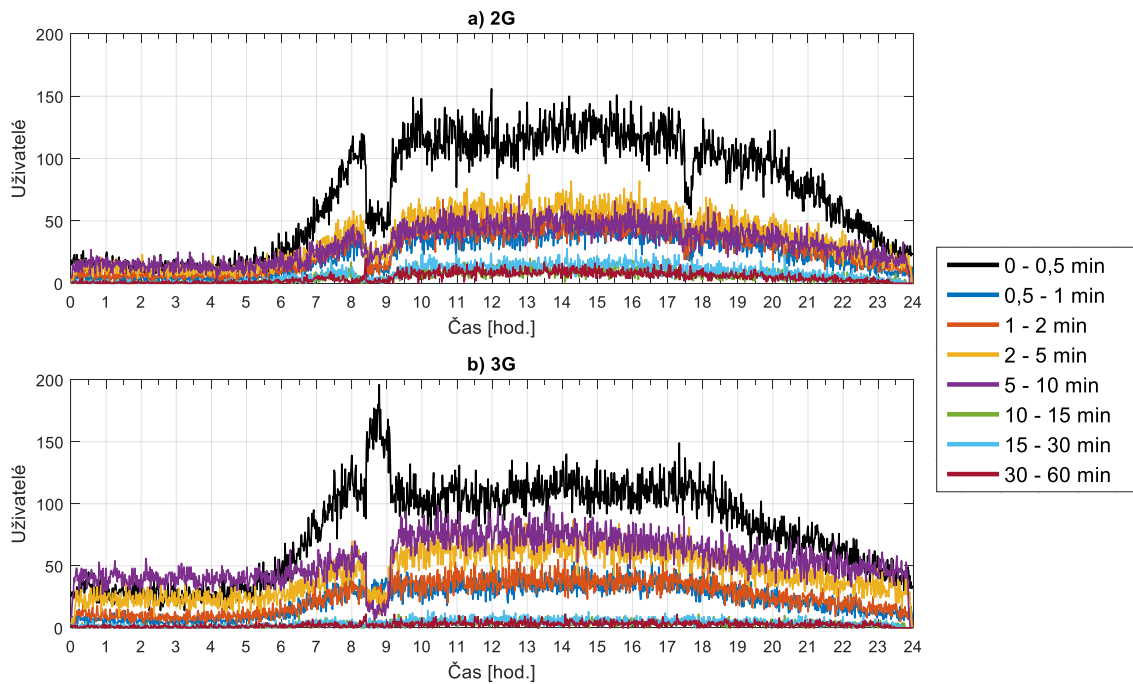
Předtím však bude rozebráno, jak by graf na Obr. 29 vypadal, pokud by se zde nepočítalo s jedinečnými uživateli, ale se všemi záznamy. Znamená to, že uživatel může mít v daném intervalu i více než jeden záznam. To zobrazuje průběh na Obr. 30.

Na první pohled je zde vidět nárůst pouze v intervalu 0 – 0,5 min. Mírný, z grafu nepříliš patrný, nárůst vznikne však i u intervalu 0,5 – 1 min. Ostatní intervaly mají totožný průběh jako na Obr. 29. To je způsobeno tím, že vzorky jsou odebírány po 1 min., pokud tedy přechod trvá déle než 1 min., na grafu se to neprojeví. Pro ujasnění poslouží příklad. Je uvažován uživatel, který má tři 10 s záznamy, následující ihned po sobě (např. 1200 s, 1210 s a 1220s, počítáno od půlnoci). Když není pracováno s jedinečnými uživateli, ale všemi jejich záznamy, budou všechny záznamy obsaženy v intervalu třikrát. Pokud bude pracováno s jedinečným uživatelem, bude vybrán přechod 1200 s od půlnoci a další v tomto intervalu již uvažovány nebudou. V tomto případě však všechny výše zmíněné záznamy budou obsaženy v jednom intervalu 0 - 0,5 min. Jestliže však u něj nastane přechod trvající 4,5 min. bude zahrnut v intervalu 0 - 5 min. Nikde jinde už po tuto dobu nemůže vzniknout další záznam od tohoto uživatele.

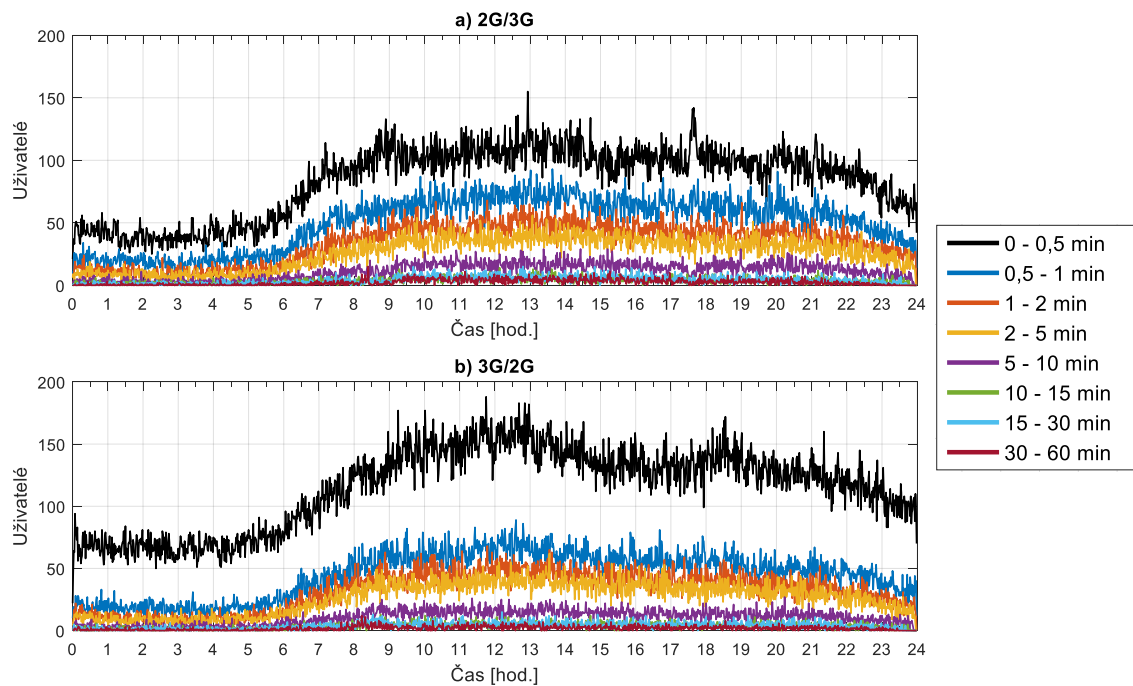
Při odebírání vzorků po 0,5 min. se rozdíl projeví jen u intervalu 0 - 0,5 min. Pokud by byly vzorky odebírány po sekundě, budou grafy totožné.

Dále bude zaměřeno na jednotlivé druhy přechodů, kde budou uvažováni pouze jedineční uživatelé. Na Obr. 31 jsou vybrány ty záznamy, kde uživatelé a) přechází pouze z 2G buňky do jiné 2G buňky a za b) přechází z 3G buňky do jiné 3G buňky. Na Obr. 32 jsou vybrány ty záznamy, kde se a) přechází pouze z 2G buňky do 3G buňky a za b) přechází z 3G buňky do 2G buňky.





Obr. 31: Aktivita jedinečných uživatelů v pondělí - přechody a) z 2G do 2G b) z 3G do 3G



Obr. 32: Aktivita jedinečných uživatelů v pondělí - přechody a) z 2G do 3G b) z 3G do 2G

Při detailnějším rozboru Obr. 31 je zjištěno, že v intervalu 0 – 0,5 min. pokles nastane pouze u přechodu z 2G buňky do jiné 2G buňky. Ve stejnou chvíli ale vznikne nárůst u přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky. Pokud by se tyto grafy spojily dohromady, jak je tomu na grafu Obr. 29, bude tento průběh vypadat, jako kdyby k žádné změně nedošlo. V dalších intervalech je sice menší pokles,

ale vyskytuje se jak u přechodu z 2G buňky do jiné 2G buňky, tak u přechodu z 3G buňky do jiné 3G buňky. Naproti tomu u průběhů na Obr. 32 nenastávají žádné znatelné výchyly. Z toho plyne, že výchyly v grafu na Obr. 29, tedy všech přechodů dohromady, jsou způsobeny výhradně přechodem z 2G buňky do jiné 2G buňky a přechodem z 3G buňky do jiné 3G buňky.

## 5.9 Vyhodnocení výsledků

V teoretické části této práce, konkrétně v kapitole 3.3, bylo vysvětleno, jak vzniká překryv buněk a co tento pojem znamená. Tato část je již prakticky zaměřená. Jsou zde analyzovány a vyhodnoceny vstupní data a získané průběhy z předcházející podkapitoly z hlediska překryvu buněk.

K posouzení, zda se buňky překrývají, poslouží hlavně grafy na Obr. 13, Obr. 14, Obr. 15 a Obr. 16, kde jsou záznamy rozděleny do intervalů podle délky trvání přechodů. Překryv může být očekáván hlavně u kratších intervalů přechodu, tedy těch do 10 min. Čím je přechod mezi intervaly kratší, tím spíše se buňky budou nacházet u sebe a překrývat se. K vysvětlení této úvahy může být uveden jednoduchý příklad v Tab. 7.

	ID uživatele	1. buňka	Čas 1. buňky	2. buňka	Čas 2. buňky	3. buňka	Čas 3. buňky
1	796182	Buňka A	69226	Buňka B	69238	Buňka A	69264
2	796182	Buňka B	69238	Buňka A	69264	Buňka B	69272
3	796182	Buňka A	69264	Buňka B	69272	Buňka A	69320
4	796182	Buňka B	69272	Buňka A	69320	Buňka B	69342
5	796182	Buňka A	69320	Buňka B	69342	Buňka A	69350

Tab. 7: Příklad překryvu buněk

Všechny časy jsou uváděny v sekundách od půlnoci. Např. hodnota 69226 je tedy ve skutečnosti čas 19:13:46, 69238 je čas 19:13:58, atd. Uživatel s ID 796182 se pohybuje mezi buňkami A a B následujícím způsobem. Nejprve se zdržuje v buňce A, po 12 s přejde do buňky B. Po dalších 26 s zpět do buňky A, po 8 s do buňky B, po 48 s do buňky A, po 22 s do buňky B a nakonec se po 8 s znovu vrátí do buňky A. Jednotlivé přechody mezi buňkami se pohybují v rozmezí 8 - 48 s. Není pravděpodobné, že by se uživatel pohyboval tak velkou rychlostí, aby dokázal přecházet mezi buňkami za tak krátkou dobu. Musel by třeba jet

velkou rychlostí autem. V tom případě by ale nejspíše nekmital mezi buňkami A a B, ale po přechodu z A do B by následoval přechod do buňky C. Pravděpodobnější je, že se jedná právě o uživatele, který se nachází v oblasti, kde se překrývají tyto dvě buňky. Změnu pak může způsobit jakýkoliv sebemenší pohyb, např. cesta do obchodu, přesun mezi místnostmi nebo dokonce jen otevření dveří či posunutí mobilního zařízení z jedné strany stolu na opačnou.

Příklad tohoto záznamu se pak nachází ve dvou intervalech a to 0 až 0,5 min. a 0,5 až 1 min. Pokud se přechody nachází v intervalu např. 30 až 60 min., může se jednat naopak o místa přímého pokrytí jednou buňkou a k přechodu do sousední buňky mohlo dojít až po přesunu uživatele o značnou vzdálenost.

Další známkou překryvu buněk může být obrovské množství záznamů některých uživatelů, zobrazených v grafech na Obr. 17, Obr. 18, Obr. 19 a Obr. 20. Počet některých uživatelů dosahuje až 50 tisíc záznamů za den. Toto velké množství záznamů, spíše než častým cestováním uživatele, vzniklo jeho pobytem v oblasti překryvu buněk. Přesnějších výsledků by mohlo být dosaženo, pokud by ve vstupních datech byly obsaženy ještě GPS souřadnice záznamů nebo alespoň jednotlivých buněk.

Z grafů kromě překryvu vyplývá i to, že uživatelé jsou aktivnější v pracovní dny, přičemž největší aktivity je dosaženo kolem poledne. Naopak nejmenší aktivity je dosaženo v noci, když většina uživatelů spí. Po vykreslení jednodenních průběhů, dostáváme pro všechny dny křivku s Gaussovo rozložením.

U průběhu aktivity uživatelů např. na Obr. 27 je vidět, že ve všechny dny kromě víkendu nastávají občasné poklesy. Při rozdělení pondělního průběhu na nepřekrývající se intervaly a bližším zkoumáním bylo zjištěno, že poklesy nastávají ve všech intervalech, kromě intervalu 0 - 0,5 min. Dále byl tento pondělní průběh rozdělen ještě na jednotlivé přechody. Tím bylo zjištěno, že pokles nastává pouze u přechodů z 2G buňky do jiné 2G buňky a z 3G buňky do jiné 3G buňky. U přechodů z 2G buňky do 3G buňky a obráceně tyto poklesy nenastávají. Z grafů na Obr. 31 a Obr. 32 je jasně vidět, proč se v grafu na Obr. 29 nevyskytoval pokles pro interval 0 - 0,5 min. Pokles pro přechody z 2G buňky do jiné 2G buňky byl totiž ve stejný čas vyrovnán nárůstem hodnot u přechodů z 3G buňky do jiné 3G buňky. Při sloučení všech přechodů zpět do jednoho, není

pro zmiňovaný interval, poznat žádný pokles. Bohužel z dostupných informací, ani z těchto grafů není možné zjistit, čím jsou poklesy způsobeny. O důvodu poklesů je možné se pouze domnívat. Jednou z domněnek může být občasný výpadek sítě při přetížení nebo poruše. Poklesy totiž nastávají hlavně při vyšším provozu a nenastávají o víkendu. Dalším vodítkem může být nárůst hodnot u 3G přechodů, pokud nastane pokles u 2G přechodů. Toto lze sledovat pouze u intervalu 0 - 0,5 min.

## Závěr

V souladu se stále rostoucím počtem mobilních uživatelů je potřeba držet krok a rozvíjet novější technologie s rychlejšími přenosovými rychlostmi a pokrytím. Co se týče pokrytí v rámci ČR, operátoři mají pokryto téměř celé území republiky a v této sféře již není kam se dál rozvíjet. V současné době je tedy spíše snaha o zvětšení kapacity a dosažení lepší efektivity už stávajícího pokrytí.

Z důvodu dosažení co největší efektivity je mimo jiné potřeba optimalizovat proces pokrytí mobilním signálem. Sítě je potřeba optimalizovat i z hlediska překryvu jednotlivých buněk. Jedním z cílů této práce bylo analyzovat poskytnutá data a nalézt mechanismus právě pro identifikaci překryvu buněk. V reálných situacích je možno najít místa se zbytečně velkým nebo předimenzovaným překryvem. Na základě toho je pak možné překryv optimalizovat např. úpravou výkonových vysílačů nebo změnou jiných parametrů.

První část této práce tvoří teoretický základ, kde byl přiblížen vývoj jednotlivých generací mobilních sítí a jejich architektura. Dále zde byla diskutována funkce a rozdělení buňkové sítě, se zaměřením na sektorizaci, velikost buněk a to nejpodstatnější, což je překryv buněk. Praktická část práce byla zaměřena na analýzu a následné zpracování vstupních dat. Hlavní náplní práce bylo zaměřit se na detekci překryvu buněk. Nejdříve byl uveden model, podle kterého byly simulace a analýza prováděny a následně probíhalo jejich vyhodnocení. Díky získaným grafům a hodnotám bylo možné detekovat a posoudit vznikající překryv buněk.

Další rozvoj této práce by mohl spočívat ve vylepšení detekce překryvu buněk. Bylo by možné navrhnout automatický algoritmus na porovnání jednotlivých buněk s následným vyhodnocením. K takovému vyhodnocení by ovšem bylo potřeba více informací, jako je např. poloha jednotlivých buněk. Další možnost vylepšení může spočívat v přesnějším vykreslení grafů o aktivitě uživatelů. Pokud by vzorky pro záznamy byly vykreslovány každou sekundu namísto jedné minuty. Vzhledem k velkému množství vstupních záznamů by to ovšem bylo velice náročné na čas a výkon počítače.

## Seznam zkratek

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
AMPS	Advanced Mobile Phone System
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CDMA 2000	Code Division Multiple Access 2000
CN	Core Network
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution
eNodeB	Evolved NodeB
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communication
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications Advanced
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
LTE-Advanced	Long Term Evolution-Advanced
MS	Mobile Station
NMT	Nordic Mobile Telephone
QoS	Quality of Service

RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UID	User Identifier
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network

## Literatura

- [1] JORALEMON, S. *5G: Globalization or Regionalization*. siliconjoralemon [online] 22. 6. 2015 [Citace 17. 5. 2016]. Dostupný z: <<https://siliconjoralemon.wordpress.com/2015/06/22/5g-globalization-or-regionalization>>.
- [2] MSHVIDOBADZE, T. *Evolution mobile wireless communication and LTE networks*. Application of Information and Communication Technologies (AICT), 6th International Conference on, Tbilisi, 17.-19. 10. 2012. [Citace 11. 5. 2016].
- [3] GUPTA, A., JHA, R. K. *A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies*. IEEE Access, vol. 3, 2015. [Citace 1. 5. 2016].
- [4] CHITRAPU, P., AGHILI, B. *Evolution of GSM into the Next Generation Wireless World*. Systems, Applications and Technology Conference, 2007. LISAT 2007. IEEE Long Island, Farmingdale, NY, 2007. [Citace 23. 4. 2016].
- [5] CHEN, A. C. *The evolution of wireless mobile data communication technologies and their market opportunities*. IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the], 2002. [Citace 2. 3. 2016].
- [6] LAMBA, A., YADAV J., DEVI, G. U. *Analysis of Technologies in 3G and 3.5G Mobile Networks*. Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2012 International Conference on, Rajkot, 11-13. 5. 2012. [Citace 26. 3. 2016].
- [7] PIKHART, Z. *Mobilní sítě*. Access Server. [online] 28. 7. 2004 [Citace 12. 4. 2016]. Dostupný z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072801>>
- [8] POOLE, I. *HSPA - High Speed Packet Access Tutorial*. Radio-Electronics.com, [online] [Citace 11. 4. 2016]. Dostupný z: <<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/3g-hspa/umts-high-speed-packet-access-tutorial.php>>



- [9] MATT, B., LI, C. *A survey of the security and threats of the IMT-Advanced requirements for 4G standards*. Conference Anthology, IEEE, China, 1-8. 1. 2013. [Citace 27. 3. 2016].
- [10] WANG, C. X. *Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks*. IEEE Communications Magazine, 12. 2. 2014. [Citace 20. 3. 2016].
- [11] KASERA, S., NARANG, N. *2G Mobile Networks: GSM and HSCSD*. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2007, str. 7 - 11. ISBN: 0-07-062106-3.
- [12] KASERA, S., NARANG, N. *3G Networks Architecture, Protocols and Procedures*. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2004, str. 17 - 32. ISBN 0-07-052799-7
- [13] EL-NASHAR, A., EL-SAIDNY, M., SHERIF, M. *Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks: A Practical Approach*, Wiley, 2014, str. 30 - 35. ISBN: 978-1-118-68321-7
- [14] SASAOKA, H. *Mobile Communications*, Japan: IOS Press, 1997, str. 119 - 125. ISBN: 1-58603-100-7
- [15] KUMAR, A., VERMA, V., *Study on Improving Coverage Area by Cell Splitting and Cell Sectoring Method in Cellular System*. ijarcse. [online] 2. 2004 [Citace 20. 5. 2016]. Dostupný z: <[http://www.ijarcse.com/docs/papers/Volume\\_4/2\\_February2014/V4I2-0478.pdf](http://www.ijarcse.com/docs/papers/Volume_4/2_February2014/V4I2-0478.pdf)>
- [16] PRAVDA, I., *Nové trendy v elektronických komunikacích Mobilní a bezdrátové sítě*. Mobilní a bezdrátové sítě. [online] [Citace 21. 5. 2016]. Dostupný z: <<https://publi.cz/books/236/02.html>>
- [17] FRENZEL, L. *Understanding The Small-Cell And HetNet Movement*. electronic design. [online] 9. 2013 [Citace 2. 4. 2016]. Dostupný z: <<http://electronicdesign.com/engineering-essentials/understanding-small-cell-and-hetnet-movement>>
- [18] Mapa pokrytí, Vodafone [online] 2. 5. 2016 [Citace 12. 5. 2016]. Dostupný z: <<https://www.vodafone.cz/mapa-pokryti/>>