



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NÁVRH RÁDIOVÉ ČÁSTI SÍTĚ LTE

RADIO NETWORK LTE DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Tribula

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
TECHNICKÉ A KOMUNIKAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

Student: Bc. David Tribula

ID: 146117

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh rádiové části sítě LTE

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte postup návrhu rádiové části mobilní sítě LTE s využitím softwarových nástrojů (doporučen program ICS Designer). Na konkrétní části území (VUT campus + část Kr. Pole) navrhnete rádiovou část sítě LTE a pomocí programu provedete simulace pokrytí území užitečným signálem i rušivými signály.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

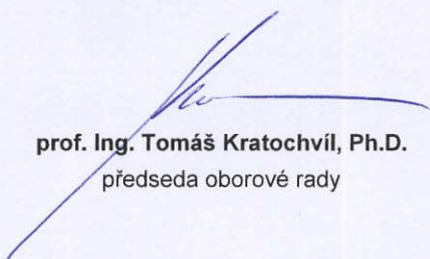
- [1] ELNASHAR, A., EL-SAIDNY, M., SHERIF, M. Design, Deployment and Performance of 4G LTE Networks. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd 2014. ISBN: 978-1-118-68321-7.
- [2] JINGHAI, L., TANGBAI, Ch., BO, Y. Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide. Huawei Technologies CO., 2011.

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 16.5.2017

Vedoucí práce: prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

Konzultant:


prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem rádiové části systému LTE pomocí programu ICS Designer. Nejprve práce popisuje zpracování signálu ve fyzické vrstvě systému LTE, a to pro downlink a uplink. Následně bylo vytvořeno jednoduché blokové schéma. Další část se zabývá modely šíření signálu v rádiovém prostředí. V poslední části je seznámení se s programem ICS Designer. V této části je pak popsán návrh základnové stanice, ukázka některých simulací a výpočty. Poslední část je věnována návrhu mobilní sítě v zadané oblasti, její simulace a následné porovnání se stávající mobilní sítí.

KLÍČOVÁ SLOVA

ICS Designer, Long Term Evolution (LTE), uplink, downlink, model šíření

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of the LTE radio part using the ICS Designer program. First, the work describes the signal processing in the physical layer LTE system, for downlink and uplink. Subsequently, it was made simple block diagram. The next part deals with models of signal propagation in the radio environment. The last part is an introduction to the ICS Designer. This section describes the base station design, demonstration of some simulations and calculations. The last part is devoted to the design of the mobile network in the given area, its simulation and subsequent comparison with the existing mobile network.

KEYWORDS

ICS Designer, Long Term Evolution (LTE), uplink, downlink, propagation model

TRIBULA, D. *Návrh rádiové části sítě LTE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 73 s., 10 s. příloh. Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Návrh rádiové sítě LTE jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících 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, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Stanislavu Hanusovi, CSc. za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Obsah	6
Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
Úvod	12
1.1 Zpracování signálu v downlinku.....	13
1.1.1 Transportní blok.....	14
1.1.2 Přidání CRC (Cycling Redundancy Check) a Segmentace	15
1.1.3 Kanálové kódování	15
1.1.4 Přizpůsobení datového toku.....	16
1.1.5 Skramblování	17
1.1.6 Modulace	18
1.1.7 Mapování	20
1.1.8 Demapování	21
1.1.9 Demodulace	21
1.1.10 Deskramblování	22
1.1.11 Přizpůsobení datového toku.....	22
1.1.12 Kanálové kódování	22
1.1.13 Desegmentace a odebrání CRC	22
1.2 Zpracování signálu v uplinku	23
1.2.1 Transportní kanály	23
1.2.2 SC-FDMA.....	24
1.2.3 Mapování Resource Block (RB).....	25
2 šíření signálu ve volném prostoru	26
2.1 Okumura model	26
2.2 Hata – Cost 231 model.....	26
2.3 Model ITU-R P.1812-4.....	27
3 Seznámení s proramem ICS Designer	29
3.1 Mapové podklady	29
3.1.1 Geografická mapa	29

3.1.2	Clutter layer	29
3.1.3	Building layer	30
3.2	Vytvoření eNodeB	31
3.3	Nastavení eNodeB	32
3.4	Simulace.....	33
3.4.1	Síla signálu.....	33
3.4.2	RSRP coverage analysis	34
3.4.3	Simulace interferencí	35
3.4.4	Účastníci	36
4	Návrh vlastní mobilní sítě LTE	37
4.1	Umístění eNodeB do lokality	37
4.2	Nastavení paramterů eNB a celé sítě	38
4.3	Analýza navrhnuté mobilní sítě	39
4.3.1	Analýza výkonu referenčního signálu RSRP.....	39
4.3.2	Analýza interferencí a propustnosti	40
4.3.3	Telefonní účastníci.....	43
4.4	Porovnání simulací s výpočty	44
4.4.1	Radiotelekomunikační rovnice	44
4.4.2	Výpočet modelu šíření	47
5	Analýza stávající mobilní sítě společnosti t-mobile	48
5.1	Výsledky analýz a jejich porovnání.....	49
5.1.1	Analýza síly referenčního signálu RSRP.....	49
5.1.2	Analýza SINR a propustnosti	49
	Závěr	53
A	Exportované tabulky z programu ICS Designer	57
A.1	Neighbour list	57
A.2	PCI list	58
A.3	RSI list	59
A.4	Parenting list	61
A.5	Conectivity report	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1	Blokové schéma downlinku.....	13
Obrázek 2.2	Segmentace [3]	15
Obrázek 2.4	QPP prokladač – blokové schéma [1].....	16
Obrázek 2.5	Přizpůsobení datového toku – blokové schéma.....	16
Obrázek 2.3	Turbo kodér - blokové schéma [1].....	16
Obrázek 2.6	Skramblování [3]	17
Obrázek 2.7	Konstelační diagramy [3].....	18
Obrázek 2.8	OFDM modulace [3].....	18
Obrázek 2.9	Vložení CP [3]	19
Obrázek 2.10	Časově - frekvenční spektrum symbolů [3].....	20
Obrázek 2.11	Časově – frekvenční grid [3]	21
Obrázek 2.12	OFDM demodulace.....	22
Obrázek 2.13	Blokové schéma uplinku.....	23
Obrázek 2.14	SC-FDMA modulace	24
Obrázek 2.15	spektra OFDMA a SC-FDMA [4]	24
Obrázek 2.16	Mapování RB [3]	25
Obrázek 2.1	Grafy pro výpočet modelu Okumura [5]	27
Obrázek 3.1	Geografická mapa	30
Obrázek 3.2	Vrstva Clutter.....	30
Obrázek 3.3	3D model [7].....	31
Obrázek 3.4	Parametry eNodeB, záložka General	32
Obrázek 3.5	Parametry eNodeB, záložka Pattern	32
Obrázek 3.6	Modely šíření	33
Obrázek 3.7	Rozložení signálu na mapě modelu Hata – Cost231	34
Obrázek 3.8	Rozložení signálu na mapě modelu ITU 1812 - 4	34
Obrázek 3.9	RSRP coverage analysis	35
Obrázek 3.10	Interference	35
Obrázek 3.11	RSRQ	36
Obrázek 3.12	SNIR	36
Obrázek 4.1	Rozmístění eNodeB v zadané lokalitě	37
Obrázek 4.2	Vyzařovací charakteristiky antény eNodeB	38

Obrázek 4.3	Analýza síly signálu, model Hata Cost 231	41
Obrázek 4.4	Analýza síly signálu, model Okumura Hata	41
Obrázek 4.5	$SINR \geq -5\text{db}$	42
Obrázek 4.6	Propustnost sítě	42
Obrázek 4.7	Vyzařovací diagram	43
Obrázek 4.8	Propojení účastníků s eNB.....	44
Obrázek 4.9	Analýza spoje mezi eNB a účastníkem.....	46
Obrázek 4.10	Analýza modelu šíření	47
Obrázek 5.1	Rozložení eNodeB v dané lokalitě.....	48
Obrázek 5.2	Analýza síly referenčního signálu RSRP, navržená síť	50
Obrázek 5.3	Analýza síly referenčního signálu RSRP, stávající síť	50
Obrázek 5.4	$SINR \geq -5\text{ db}$, navržená síť	51
Obrázek 5.5	$SINR \geq -5\text{ db}$, stávající síť	51
Obrázek 5.6	Propustnost, navržená síť	52
Obrázek 5.7	Propustnost, stávající síť	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1	Parametry eNodeB	38
Tabulka 4.2	PRACH parametry sekvence ZC ze specifikace 3GPP	39
Tabulka 4.3	Parametry účastníků	43

ÚVOD

Cílem této diplomové práce bylo seznámit se s návrhem rádiové části sítě LTE a možnost modelovat síť v programu ICS Designer. Dále navrhnout rádiovou část sítě LTE a pomocí programu ICS Designer provést simulace pokrytí signálem.

V první části diplomové práce jsem se podrobněji seznámil se zpracováváním signálu v síti LTE. Jak již vyplývá ze zadání, věnoval jsem se pouze fyzické vrstvě. Zabýval jsem se dvěma směry šíření, a to od základnové stanice k mobilnímu zařízení a od mobilního zařízení k základnové stanici. První zmíněný směr nazýváme downlink a druhý uplink. Následně jsem vytvořil jednoduché blokové schéma pro oba směry a popsal jednotlivé procedury zpracování signálu. Započínám u zpracování signálu v downlinku, úpravou transportního toku, následuje pak kódování dat, po kterém se provede úprava datového toku. Další na řadě je skramblování, základní modulace a OFDM modulace a posledním blokem před vysíláním do rádiového prostředí je mapování kanálů. V následující části popisují příjem signálu ze základnové stanice mobilním zařízením. Jedná se o opačný postup než při úpravě transportního toku. Po downlinku je pak popsán uplink, který je až na pár bloků odlišný od downliku. Zásadní rozdíl spočívá v použité modulaci a v mapování kanálů. Používá se zde SC-FDMA modulace.

Ve druhé části rozebírám modely šíření pro městské oblasti. Přičemž jsem se zaměřil na dva nepoužívanější, kterými jsou Okumura model a Hata – Cost 231.

Třetí část se zabývá programem ICS Designer. Tento program je klíčový pro simulaci rádiových sítí. ICS Designer umožňuje navrhovat jak mobilní, tak i rádiové a rozhlasové sítě, nadále sítě typu point to point, a dokonce i satelitní sítě. Já jsem se však zaměřil pouze na návrh mobilní sítě LTE. V této kapitole demonstuji na jednoduché ukázce modelování jedné základnové stanice se třemi anténami, které pokrývají tři sektory. V jednotlivých kapitolách jsou pak zobrazeny simulace. Program nám umožňuje detailní nastavení parametrů stanice a poskytuje nepřeberné množství simulací. A právě díky tomuto programu můžeme síť navrhnout, simulovat a doladit případné nedokonalosti.

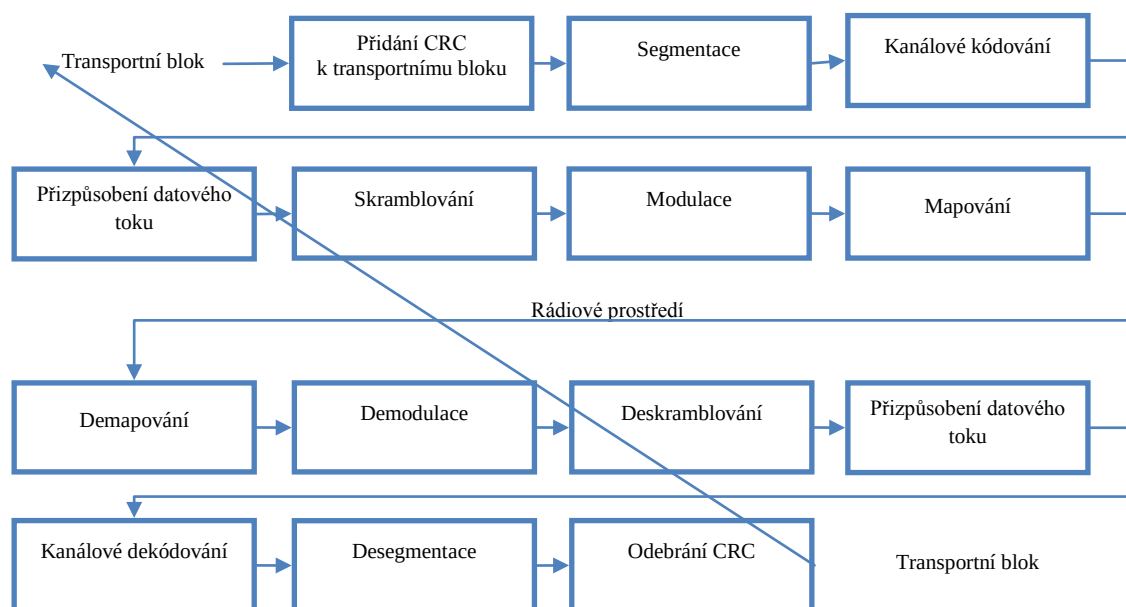
V poslední části se věnuji návrhu mobilní sítě LTE za pomoci již zmíněného programu ICS Designer. Jsou zde popsány jednotlivé kroky - jak jsem postupoval při návrhu mobilní sítě v tomto programu. Dále jsou zde výsledky ze simulací pokrytí signálu nově navrhnuté sítě LTE a shrnutí její funkčnosti a využitelnosti. V poslední řadě jsem provedl komparaci mnou navrhnuté mobilní sítě se stávající sítí společnosti T-Mobile, které bylo však nad rámec zadání. Výsledky simulací obou sítí jsem následně vyhodnotil a popsal.

Zpracování signálu v LTE

Tato kapitola se věnuje zpracování signálu v systému LTE, specializuje se na fyzickou vrstvu, která řeší komunikaci mezi základnovou stanicí eNodeB a uživatelem s mobilním zařízením zvané UE. Fyzická vrstva zpracovává data z vyšších vrstev, která se vyšlou pomocí vysokofrekvenčního signálu do radiového prostoru. Tento signál uživatel přijme a opět dekóduje na původní data, která byla vyslána. Rozlišujeme dva směry zpracování signálu, a to komunikaci od eNodeB k UE, kterou nazýváme downlink a komunikaci od UE k eNodeB zvanou uplink. Některé části zpracování signálu v uplinku a downlinku jsou stejné, ale najdeme mezi nimi rovněž výrazné rozdíly, a proto budou rozebrány zvlášť.

1.1 Zpracování signálu v downlinku

Jak už bylo řečeno, jedná se o vysílání signálu od základnové stanice eNodeB k mobilní stanici UE. Na obr. 1.1 je vidět blokové schéma zpracování informace, představující transportní blok, kterou chceme vyslat do radiového prostoru.



Obrázek 2.1 Blokové schéma downlinku

Fyzická vrstva zpracovává transportní blok (TB) - jedná se o skupinu bitů. Systém dokáže zpracovat až dva TB najednou. Nejprve je transportní blok doplněn o Cyclic Redundancy Check (CRC), který může být dlouhý 8, 16 nebo 24 bitů. CRC umožňuje detekci chyb na straně přijímače. Dalším krokem je rozdělení na segmenty a přidání CRC ke každému segmentu, a to aby měl segment správnou velikost. Segmenty se zpracovávají jeden za druhým. Blok kanálového kódování má za úkol přidat redundanci pro zabezpečení a snížení velikosti přenášených dat, k tomu se využívá turbo kódu. Následuje přizpůsobení datového toku na určitou délku a sjednocení segmentů na jeden

celek, označovaný jako kódové slovo. Aby nedocházelo k interferencím mezi signály v rádiovém prostředí, musí se provést proces skremblování. Poté se blok vnitřní modulace stará o převod bitů na symboly. Následně jsou symboly mapovány a připravovány na přenos pomocí více antén tak, aby se vytvořil rádiový rámec. Proveďte se OFDM modulace, signál se převede do vysokofrekvenční oblasti a vyšle se na antény, které tento signál vyšlou do rádiového prostředí. Příjimač tento signál zachytí a provede opačné operace pro získání transportního bloku.

Nejprve se na straně přijímače provede OFDM demodulace. Tím se signál dostane do základního pásma, a tak se získají symboly. Z rádiového rámce dostaneme potřebná data a vnitřní demodulace převede symboly na bity. Poté se provede deskremblování a získají se správné bity. Následně se vytvoří segmenty, které se zpracují jeden po druhém. Segmenty se doplní o bity, které byly předtím odstraněny v bloku přizpůsobení datového toku. Dále je odstraněna redundance, odebere se CRC a segmenty se sloučí do jednoho bloku. V posledním kroku bude znovu odebrán CRC a transportní blok se pošle vyšším vrstvám pro další zpracování.

1.1.1 Transportní blok

Řízení přístupu (Medium Access Control MAC) posílá data do fyzické vrstvy. Tato data nazýváme transportní blok. Fyzická vrstva má za úkol tento transportní blok upravit pro vyslání do rádiového prostoru. Aby při přenosu nedošlo k poškození či úniku dat, je transportní blok ve fyzické vrstvě zakódován a zabezpečen. Ten se pak multiplexuje do transportních kanálů.

Transportní kanály

Transportní kanály jsou definovány pro downlink a uplink. Tyto kanály jsou mapovány do fyzických kanálů.

Rozlišujeme tyto transportní kanály pro downlink:

- **Broadcast Chanel (BCH)** – tento kanál se stará o přenos část systémové informace, která je nezbytná pro Downlink Shared Chanel (DL-SCH).
- **Downlink Shared Chanel (DL-SCH)** – je kanál používaný pro uživatelská data nebo pro kontrolní zprávy. Kromě toho přenáší i systémové informace, které nejsou přenášeny kanálem BCH.
- **Paging Chanel (PCH)** – kanál se používá pro přenos pagingové informace do mobilních zařízení (UE). Dále informuje UE o změně systémových informací.
- **Multicast Chanel (MCH)** – tento kanál přenáší uživatelská data nebo kontrolní zprávy, které vyžadují MBSFN

Kanály PCH a DL-SCH se mapují na fyzický kanál Physical Downlink Shared CHannel PDSCH, který je používán pro všechna uživatelská data, pro přenosové systémové informace, které nejsou přenášeny po PBCH a dále obsahuje zprávy o pagingu.

Kanál BCH se mapuje na PBCH (Physical Broadband Chanel), tento kanál obsahuje informace o buňce a o jejím přístupu pro UE. Je určen pro včasné odhalení buňky ze strany UE.

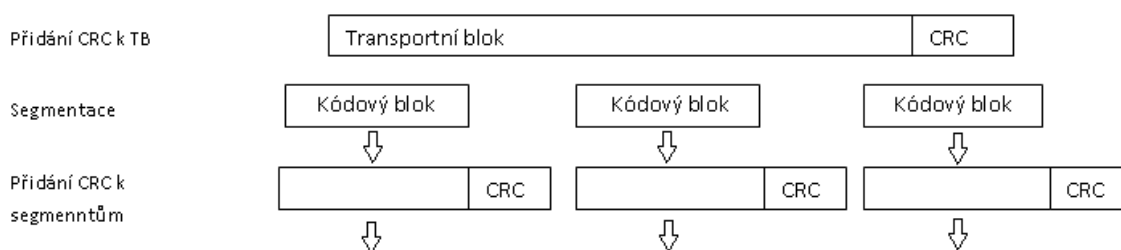
Kanál MCH se mapuje na kanál PMCH (Physical Multicast Chanel), který nese

informace z vyšších vrstev protokolů pro Multimedia Broadcast and Multicast Services (MBMS) s použitím jedno frekvenční sítě MBSFN.

1.1.2 Přidání CRC (Cycling Redundancy Check) a Segmentace

K transportnímu bloku se přidá kontrolní součet CRC, a to pro detekci chybně přenesených transportních bloků na straně přijímače. Kontrolní součet může být dlouhý 8, 16 nebo 24 bitů.

Jelikož turbo kodér pracuje s určitou délkou kódového slova, maximální délka kódového slova je 6144 bitů, musí se transportní blok s CRC rozdělit na segmenty tzv. kódové bloky. Pokud je transportní blok malý, je doplněn o plnicí bity, které se umístí na začátek bloku. K těmto kódovým blokům se přidá další CRC, jak je uvedeno na obr. 1.2. Kontrolní součet se dává na konec bloku, což umožňuje rychlou detekci chyby na straně přijímače, tím můžeme včas ukončit čtení špatného bloku a přejít tak na další. To má za následek snížení spotřeby energie při dekódování. Velikost kódového bloku je obsažena v řídicích kanálech PDCCH/EPDCCH.



Obrázek 2.2 Segmentace [3]

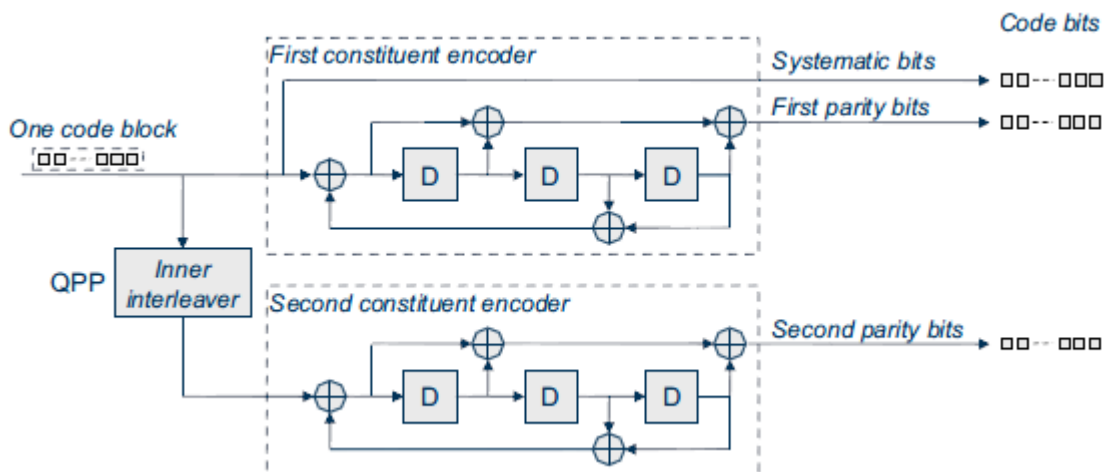
1.1.3 Kanálové kódování

Kanálové kódování pro kanály DL-SCH, PCH a MCH se provádí pomocí Turbo kódů s kódovým poměrem 1/3. Blokové schéma Turbo kodéru je na obr. 1.3. Jedná se o dva stejné paralelní konvoluční kodéry a interní prokladač. Vstupní bitová posloupnost se zakóduje pomocí konvolučního kodéru a následně je zakódována podruhé pomocí prokladače. Prokladač je typu QPP (Quadratic Permutation Polynomial). Prokladač přesune bity tak, aby byly blízké vstupní bity daleko od sebe, tím způsobem jak je ukázáno na obr. 1.5 Vstupní bity se mapují podle funkce:

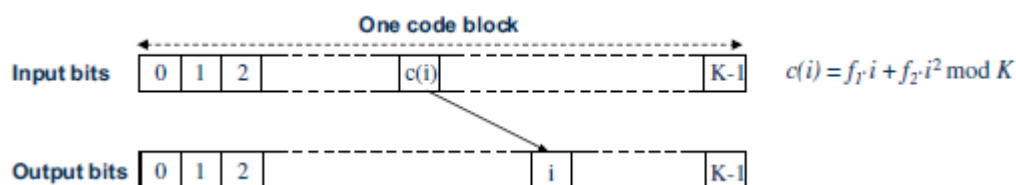
$$c(i) = f_1 i + f_2 i^2 \bmod K \quad (1.1)$$

Kde i je index bitu výstupu z prokladače, $c(i)$ je index stejného bitu na vstupu prokladače a K je velikost kódového bloku/prokladače. Hodnoty f_1 a f_2 závisí na velikosti kódového bloku K .

Ve specifikaci LTE je velikost K dána v rozmezí od 40 do 6144 bitů.



Obrázek 2.3 Turbo kodér - blokové schéma [1]

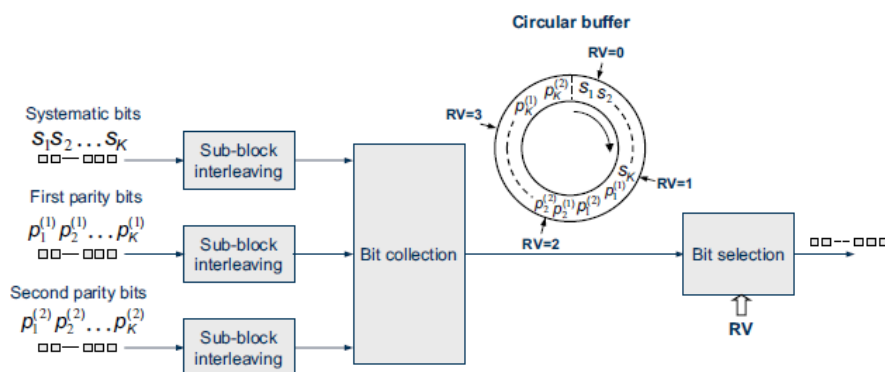


Obrázek 2.4 QPP prokladač – blokové schéma [1]

1.1.4 Přizpůsobení datového toku

Blok přizpůsobení datového toku se stará o odstranění nadbytečných bitů z turbo kodéru a následné extrahování potřebných bitů, které mají být předány v daném časovém intervalu zvaném TTI (Transmission Time Interval).

Jak je ukázáno na obr. 1.5, jsou systematické bity, první a druhé paritní bity, z turbo kodéru jsou nejprve samostatně odděleny a proloženy. Prokládané bity dále pokračují do tzv. kruhového bufferu, kde se z něj následně extrahují bity. Nejprve se extrahují bity systematické, následně první parita a nakonec parita druhá. Od délky bitové posloupnosti se pak odvíjí velikost verze redundance RV.

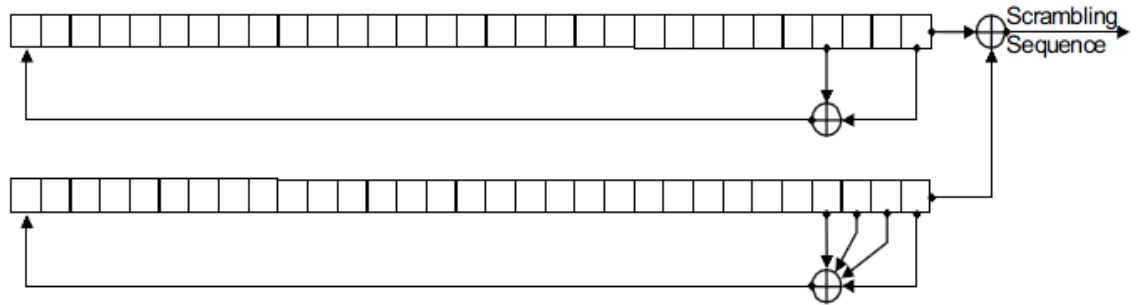


Obrázek 2.5 Přizpůsobení datového toku – blokové schéma

1.1.5 Skramblování

V tomto bloku se přičte k datové posloupnosti pseudonáhodná (PN) sekvence a tím dojde k výraznému zabezpečení proti interferencím mezi signály. Sousední eNodeB mají tyto sekvence rozdílné, a proto nedochází k interferencím.

PN posloupnost je nahodilá a pravděpodobnost výskytu jedničky či nuly je stejná. U systému LTE se používá Gold sekvence o velikosti sekvence 31 bitů. Gold sekvence mají mezi sebou nízkou korelaci. Z obr. 1.4 je vidět, že generátor PN posloupnosti se skládá ze dvou posuvných registrů.



Obrázek 2.6 Skramblování [3]

Matematicky lze skramblování popsat takto: každé kódové slovo q se skládá z bitů $b(q)(0), \dots, b(q)(M_{bit}^{(q)}-1)$, kde $M_{bit}^{(q)}$ je počet bitů v kódovém slovu q přeneseným v transportním kanále v jednom subrámcu. Skramblování musí proběhnout před modulací. Toto kódové slovo je skramblováno podle vztahu

$$b^q(i) = (b^q(i) + c^q(i)) \bmod 2 \quad (1.2)$$

kde $c^q(i)$ je skramblovací sekvence. Generátor skramblovací sekvence je spuštěn na začátku každého subrámcu, kde se inicializuje hodnota c_{init} , závislá na typu kanálu a je definována jako

$$c_{init} = \begin{cases} n_{RNTI} 2^{14} + q 2^{13} + \left(\frac{n_s}{2}\right) 2^9 + N_{ID}^{cell} & \text{pro PDSCH} \\ \left(\frac{n_s}{2}\right) 2^9 + N_{ID}^{MBSFN} & \text{pro PMCH.} \end{cases} \quad (1.3)$$

Kde n_{RNTI} odpovídá RNTI spojené s kanálem PDSCH.

Až dvě kódová slova mohou být přenesena v jednom subrámcu $q \in \{0,1\}$. V případě jednoho kódového slova je pak q rovno nule.

Jak už bylo řečeno, tak PN sekvence je definovaná jako Gold sekvence o velikosti 31 bitů. Výstupní sekvence $c(n)$ délky M_{PN} , kde $n = 0, 1, \dots, M_{PN} - 1$, je definována jako

$$c(n) = (x_1(n + N_c) + x_2(n + N_c)) \bmod 2 \quad (1.4)$$

$$x_1(n + 31) = (x_1(n + 3) + x_1(n)) \bmod 2 \quad (1.5)$$

$$x_2(n + 31) = (x_2(n + 3) + x_2(n + 2) + x_2(n + 1) + x_2(n)) \bmod 2. \quad (1.6)$$

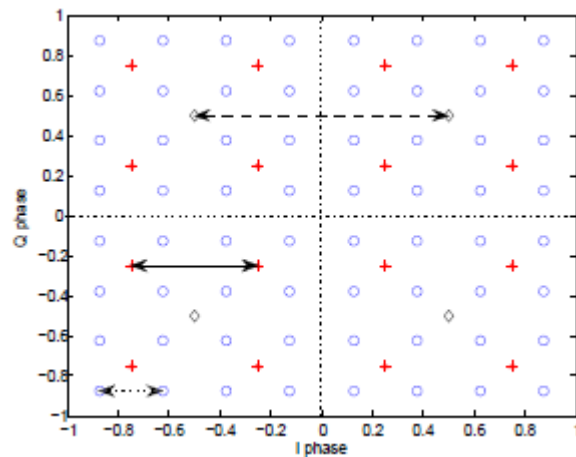
Kde $N_C = 1600$ a první sekvence musí být inicializovaná jako $x_1(0) = 1, x_1(n) = 0, n = 1, 2, \dots, 30$.

Inicializace druhé m-sekvence je označena jako $c_{init} = \sum_{i=0}^{30} x_2(i)2^i$, s hodnotou záviselící na typu kanálu.

1.1.6 Modulace

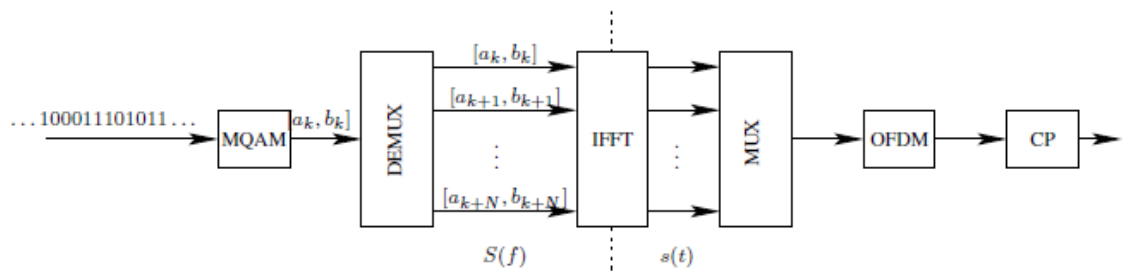
První modulace zvyšuje přenosovou rychlost a převádí bity na symboly. Zvýšením přenosové rychlosti pak dojde ke snížení odolnosti signálu vůči šumům a podobným nežádoucím jevům. Systém LTE nám umožňuje měnit přenosovou rychlost v závislosti na kvalitě rádiových podmínek. Tuto kvalitu posuzujeme odstupem signálu k šumu, jež je nazýván SNR.

Pro fyzický kanál je možné používat modulace typu QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) a 64QAM. Bitová posloupnost se převádí postupně po 2, 4 nebo 6 bitech, záleží na typu modulace. Výsledkem jsou modulační symboly. Na obr. 1.4 jsou konstelační diagramy používaných modulací se zobrazením vzdálenosti mezi symboly.



Obrázek 2.7 Konstelační diagramy [3]

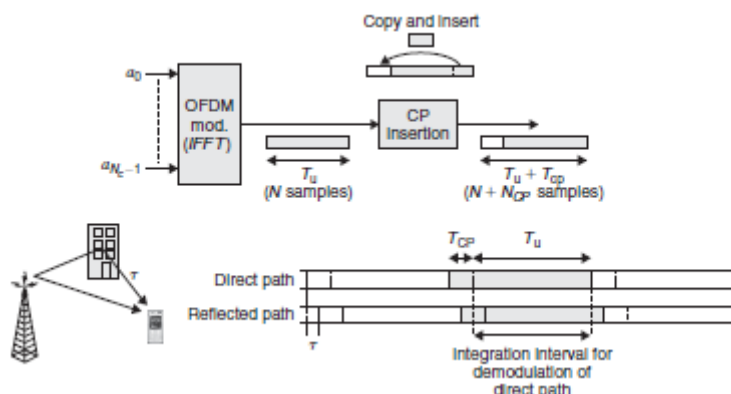
Nyní jsou vytvořené symboly, které se převedou na časové vzorky pomocí OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) modulátoru. Blokové schéma OFDM modulátoru společně s prvotní modulací je vidět na obr. 1.5.



Obrázek 2.8 OFDM modulace [3]

OFDM modulace je velmi odolná vůči interferencím, a proto je velmi vhodná pro mobilní komunikační sítě ve městech, kde dochází k velkým interferencím, které vznikají odrazem od budov.

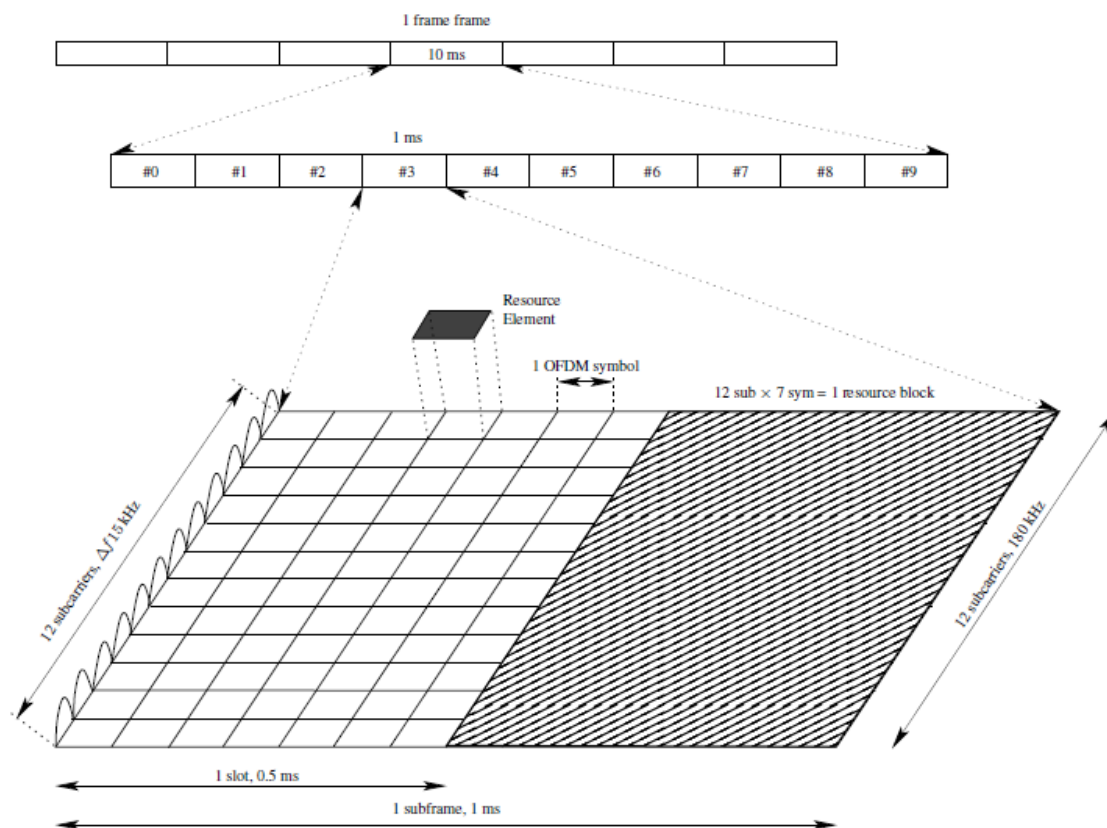
Vytvořené symboly z prvotní modulace se v demultiplexoru rozdělí na několik větví. Následuje blok inverzní Fourierovy transformace IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), který vytvoří ze všech symbolů sérii vzorků zpracovaných v časové oblasti. Následuje multiplexování na sériový tok. Poslední částí je přidání cyklického prefixu CP (Cycling Prefix), či ochranného intervalu GI (Guard Interval). Je zde snaha eliminovat vliv vícecestného šíření signálu mezi vysílačem a přijímačem. Při použití ochranného intervalu GI, tak zpracování v přijímači proběhne až po uplynutí GI, a tím se zpracuje kompletní signál z přímé a odražené cesty, která doputuje o něco později. Pomocí GI se zabrání mezisymbolovým přeslechům ISI (Inter Symbol Interference). Zkopírováním konce OFDM symbolu na začátek, se pak zabrání interferencím mezi subnosnými ICI (Inter Carrier Interference), tuto operaci nazýváme cyklický prefix CP. Díky této operaci nedochází k harmonickému zkreslení součtu přímé a odražené větve.



Obrázek 2.9 Vložení CP [3]

Na obr. 1.8 je zobrazena časově-frekvenční struktura symbolů z OFDM modulátoru. Rádioový rámec s dobou trvání 10ms je dále rozdělen na 10 subrámců o trvání 1 ms. Jeden subrámec je rozdělen na dva sloty trávající 0,5ms. Jeden slot je tvořen OFDM symbolem. Při použití normálního CP je v jednom slotu 7 OFDM symbolů. Kdyby byl však použit rozšířený CP, tak je OFDM symbolů pouze 6. Struktura jednoho subránce v časové oblasti je vidět na obr. 1.10.

Systémová šířka pásma $B \in \{1,4;3;5;10;15;20\}$ MHz je rozdělena na frekvenční bloky, které tvoří s jedním časovým slotem Resource Block (RB). Jeden RB obsahuje 12 subnosných jednoho OFDM symbolu v časové rovině. Rozestup subnosných je veliký $\Delta f = 15$ kHz. Jeden RB zabírá 180kHz ve frekvenční oblasti nebo 0,5 ms v časové oblasti. Počet RB v dané šířce pásma může nabývat hodnot $\{6;15;25;50;75;100\}$. RB jsou symetricky mapovány kolem DC subcarrier. Základní Radio Resource Unit (RRU) systému LTE je Resource Element (RE), to je jedna subnosná v OFDM.



Obrázek 2.10 Časově - frekvenční spektrum symbolů [3]

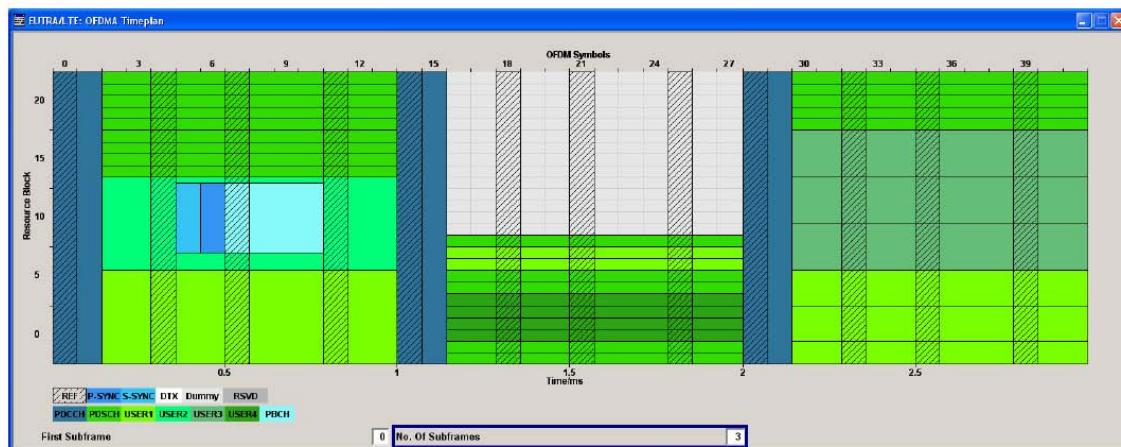
1.1.7 Mapování

Fyzické kanály, referenční kanály a synchronizační kanály se namapují do tzv. Resource Grid (RG). Fyzické kanály se přenášejí v prvním slotu daného rádiového rámce. Používá se zde frekvenčního skákání spolu s fázovou rotací po každém rámci.

Pro zajištění časové synchronizace jsou namapovány i synchronizační signály. Rozlišují se dva typy synchronizačních signálů, a to primární a sekundární. Primární je umístěn v prvním a šestém subrámcu rádiového rámce. Umístění synchronizace v rámci subrámcu je v prvním slotu. Primární synchronizace v sedmém OFDM symbolu a sekundární v šestém OFDM symbolu. Synchronizace se přenáší uprostřed frekvenčního pásma na 72 subnosných, to odpovídá šířce pásma 1,4 MHz.

Na obr. 1.9 je zobrazen časově frekvenční grid pro systémovou šířku 5MHz, počet RB = 25 po 4 uživatele, 3 subrámcu a normální prefix.

Spodní osa x je časová osa v ms, horní osa je označena čísly OFDM symbolů. Frekvenční osa y je označena pomocí RB. OFDM symboly, označené šrafovaně, jsou využity pro přenos pilotních subnosných pro rozlišení přenosových vrstev a odhad frekvenční charakteristiky kanálu.



Obrázek 2.11 Časově – frekvenční grid [3]

Na první dva OFDM symboly je namapován kanál PDCCH (Physical Downlink Control CHanel). V tomto kanálu se přenášejí kanály PHICH (Physical Hybrid-ARQ Indicator CHanel) a PCFICH (Physical Control Format Indicator CHanel). Tyto kanály používají frekvenční skákání, a proto se v každém subrámcí přenášejí na jiných subnosných. Dále se přenášejí v řídicím kanálu informace o rozložení RB mezi uživateli. V prvním subrámcí vidíme primární a sekundární synchronizace, které navazují na kanál PBCH (Physical Broadcast CHanel). Jednotliví uživatelé jsou rozlišeni odstíny zelené. Po konečném mapování je signál přenesen na antény a následně pak do rádiového prostředí.

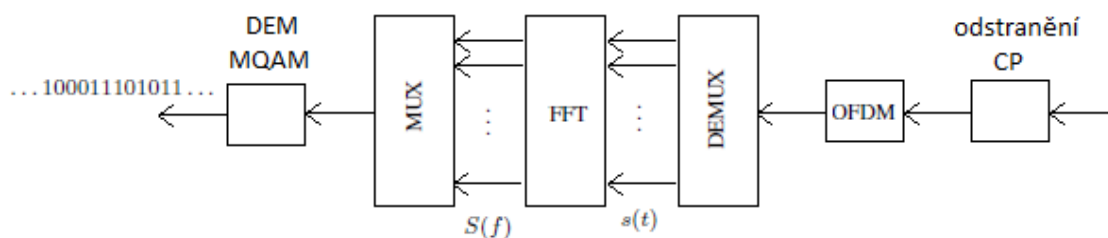
1.1.8 Demapování

Signál je přijímán anténami a napáječem sveden zpět do systému. Zpracováván je pak v opačném postupu, než byl vyslán. Po průchodu signálu rádiovým prostředím, byl signál vystaven vnějším vlivům, které ovlivnily jeho kvalitu. Modely šíření signálu v prostoru jsou detailněji rozebrány v kapitole 2.

Prvním blokem, který následuje po přijetí signálu anténami, je demapování. Z přijatého signálu se vyjmou fyzické kanály, referenční kanály a synchronizační kanály, ze kterých se získají potřebné informace o signálu.

1.1.9 Demodulace

Po demapování se signál převede do základního pásma, což znamená, že se vysokofrekvenční signál převede na nízkofrekvenční. Následně se odstraní cyklický prefix a provede se OFDM demodulace. OFDM demodulace provádí opačné operace, než které jsou prováděny OFDM modulací. Na obr. 1.10 je pak názorně vyobrazeno blokové schéma demodulace.



Obrázek 2.12 OFDM demodulace

Po odstranění CP se signál demultiplexuje na několik větví, načež se provede rychlá Fourierova transformace FFT, která převede signál z časové oblasti na symboly. Symboly se dále multiplexují na sériový tok. Sériový tok symbolů se následně demoduluje podle použité modulace (QPSK, 16QAM, 64QAM). Symboly jsou na konci demodulace převedeny na datový tok.

1.1.10 Deskramblování

V bloku deskramblování se provede ta samá operace jako u skramblování. Pokud přičteme k datovému toku stejnou pseudonáhodnou sekvenci, jako tomu je při skramblování, dostaneme původní datový tok.

1.1.11 Přizpůsobení datového toku

V tomto bloku se signál rozdělí na segmenty a ty se jeden po druhém dále zpracovávají. Bity, které byly odstraněny, jsou zde zase přidány a datový tok je seskupen do tvaru, který kanálové kódování dokáže dekodovat.

1.1.12 Kanálové kódování

Pomocí turbo dekodéru se bitová posloupnost dekoduje stejně jako v kapitole 1.1.3.

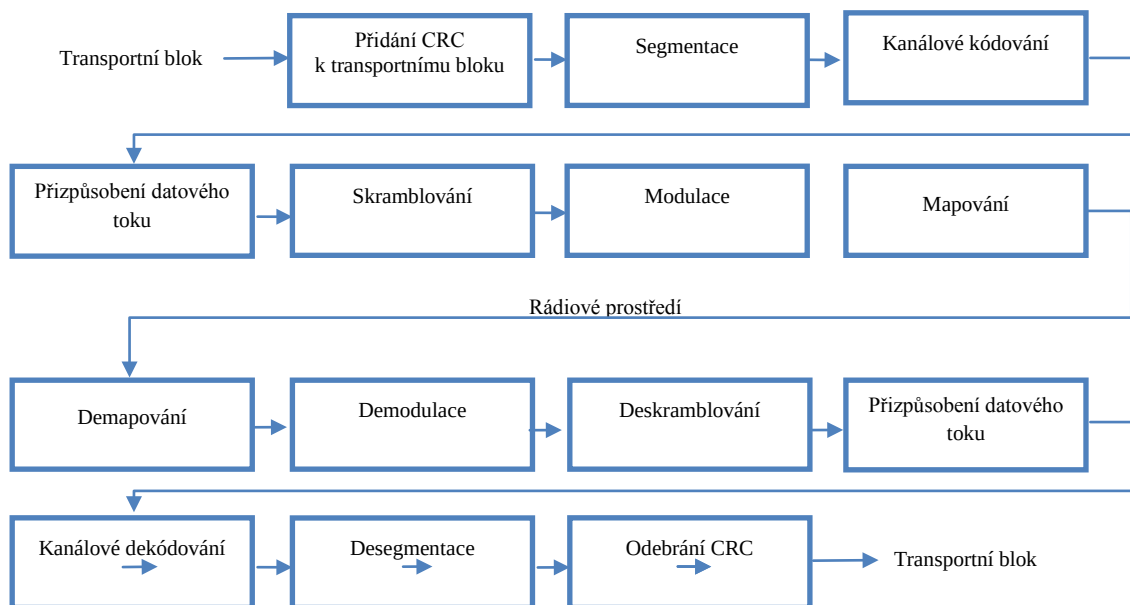
1.1.13 Desegmentace a odebrání CRC

Po dekodování turbo dekodérem se zkontroluje kontrolní součet CRC, a pokud kontrolní součet souhlasí, je tento součet odstraněn a data jsou poslána na další zpracování. Pokud kontrolní součet nesouhlasí, systém požádá o znovu poslání chybných dat. Správné segmenty s daty se sloučí do jednoho toku a díky tomuto toku je umožněno překontrolovat další kontrolní součet CRC. A pokud je vše v pořádku, tak dojde k jeho odstranění. Tímto odstraněním získáváme původní transportní blok, který jsme zpracovávali na začátku řetězce zpracování signálu v downlinku.

1.2 Zpracování signálu v uplinku

Zpracování signálu ve směru uplink znamená, že signál se šíří z mobilní stanice k základnové stanici eNodeB. Zpracování transportního bloku je z větší části stejný jako v downlinku, a proto se budeme věnovat pouze odlišnostem.

Mobilní zařízení dokáže zpracovávat pouze jeden transportní blok. Používají se zde jiné transportní kanály a jiné mapování. V uplinku se používá SC-FDMA modulace.



Obrázek 2.13 Blokové schéma uplinku

1.2.1 Transportní kanály

Transportní kanály jsou definovány pro downlink nebo pro uplink. Tyto kanály jsou mapovány do fyzických kanálů.

Rozlišujeme tyto transportní kanály pro uplink:

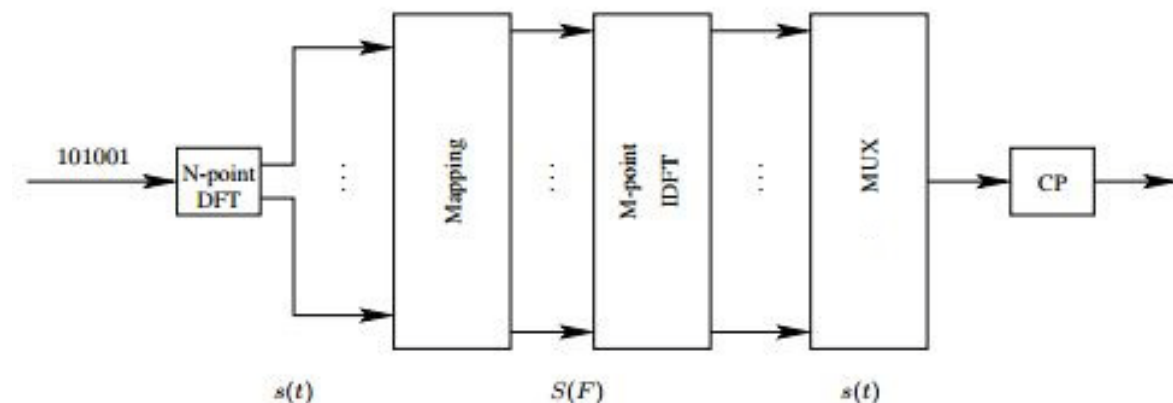
- **Randon Access Chanel (RACH)** – tento transportní kanál se používá pro přístup do sítě, když není UE časově synchronizováno, nebo když nemá přidělené přenosové prostředky.
- **Uplink Shared Chanel (UL-SCH)** – je kanál používaný pro uživatelská data nebo pro kontrolní zprávy. Kromě toho přenáší i systémové informace, které nejsou přenášeny kanálem BCH.

Tyto transportní kanály se mapují na fyzické kanály. Kanál RACH se mapuje na kanál PRAH (Pysical Random Access Chanel). PRAH kanál slouží pro náhodný přístup. Kanál UL-SCH se mapuje na PUSCH (Pysical Uplink Shared Chanel) kanál, zde jsou obsažena uživatelská data. V uplinku je ještě jeden fyzický kanál PUCCH (Physical Uplink Control Chanel). V tomto kanálu jsou řídicí informace pro uplink.

1.2.2 SC-FDMA

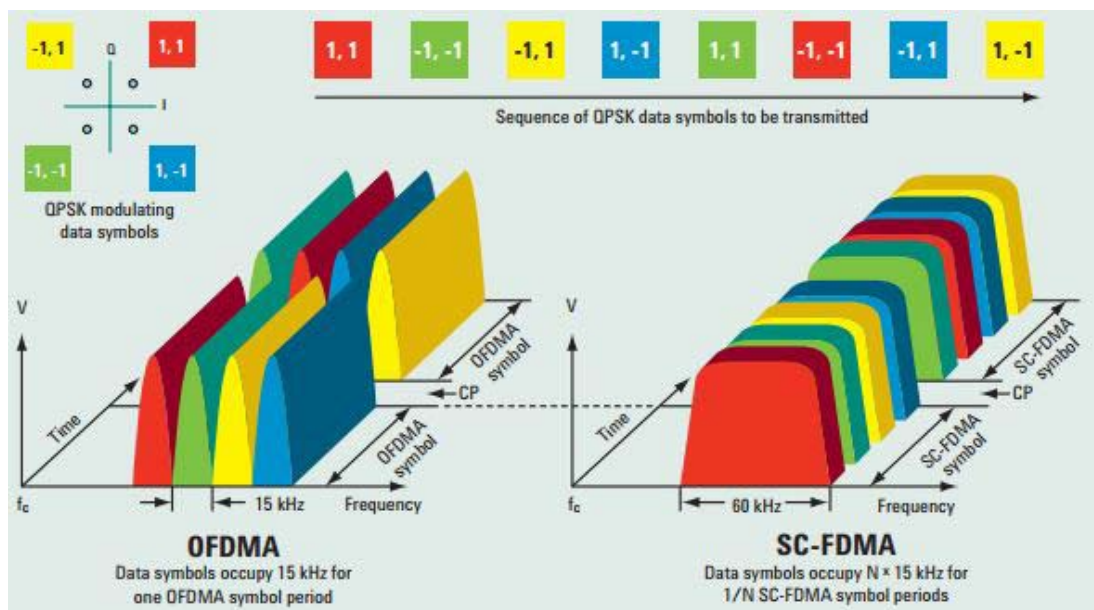
Jelikož je mobilní zařízení přenosné, je nutné ho napájet baterií. To je dost omezující z hlediska výkonu, a proto se nemůže používat modulace OFDM, ale modulace SC-FDMA. Modulace SC-FDMA má menší dynamiku signálu a tím není tak náročná na spotřebu energii.

Na obr. 1.12 je vidět blokové schéma SC-FDMA modulace. Tato modulace využívá rozprostírání spektra pomocí Diskrétní Fourierovy Transformace (DFT) a mapováním na subnosné OFDM symbolu.



Obrázek 2.14 SC-FDMA modulace

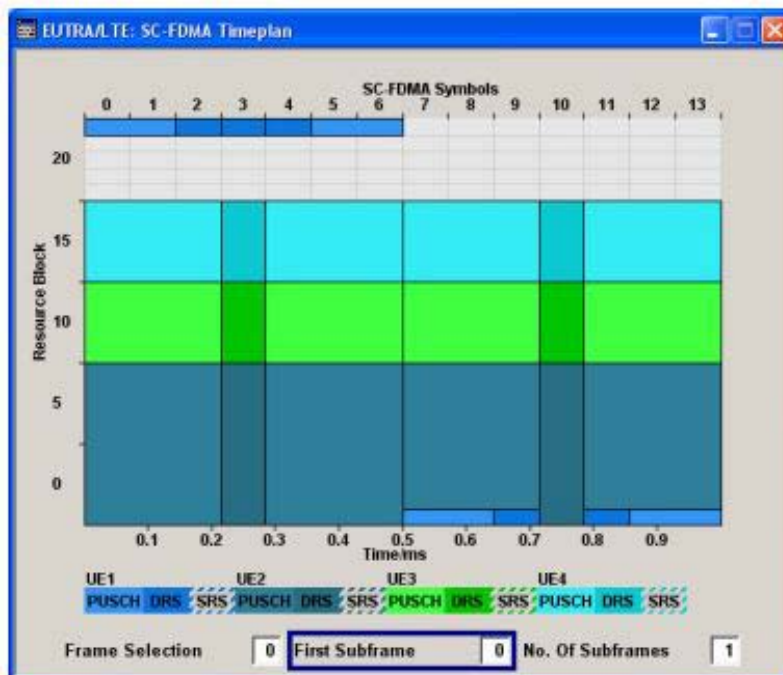
Díky N-point DFT na vstupu se zajistí rovnoměrné rozložení amplitud vzorků na jednotlivé subnosné o N bodů. V bloku mapping se provede vložení nulových hodnot před iFFT až do počtu M bodů. Vzorky se doplní na konci řetězce. Na obr. 1.13 je srovnání spekter modulace OFDMA a SC-FDMA. Z obrázku je patrné, že jsou symboly z prvotní modulace namapované na jednu nosnou frekvenci a rozděleny na SC-FDMA symboly v čase.



Obrázek 2.15 spektra OFDMA a SC-FDMA [4]

1.2.3 Mapování Resource Block (RB)

Pro uplink je mapování mezi uživatele trochu odlišné. Používá se zde lokalizované mapování subnosných (uživatel má všechny přidělené RB kontinuálně navazující). Na obr. 1.14 je patrné, že jsou řídicí kanály mapovány na okraj systémové šířky pásma a dochází k přepínání mezi dolním a horním krajním RB s periodou jednoho slotu. Uživatel má přiděleny nějaký RB, ale řídicí informace se přenášejí na úplně jiném RB. OFDM symboly 3 a 10 jsou využity pro přenos referenčních signálů pro demodulaci. Dále se používá SRS (Sounding Reference Signal) pro ekvalizaci a odhad kanálu. Tento kanál se přenáší v posledním symbolu.



Obrázek 2.16 Mapování RB [3]

2 ŠÍŘENÍ SIGNÁLU VE VOLNÉM PROSTORU

Moderní nástroje pro návrh mobilních komunikačních sítí používají různé modely pro šíření signálu ve volném prostoru, v zástavbě či v budovách. Existuje celá řada modelů, které jsou vhodné pro různé aplikace. My se budeme zabývat modely šíření pro městskou zástavbu. Tyto modely zohledňují odrazy od budov, interference mezi signály atd.

Pro modelování městských oblastí byly vyvinuty tyto modely Okumura, Hata – Cost 231 a další.

2.1 Okumura model

Okumura model je nejoblíbenější model pro městské oblasti, protože tento model byl vyvinut pro město Tokyo v Japonsku. Model je ideálním řešením pro městskou strukturu s malým počtem vysokých budov. Byl vyvinut pro městské, příměstské a otevřené oblasti.

Ztráty L_m podle Okumura modelu jsou definovány:

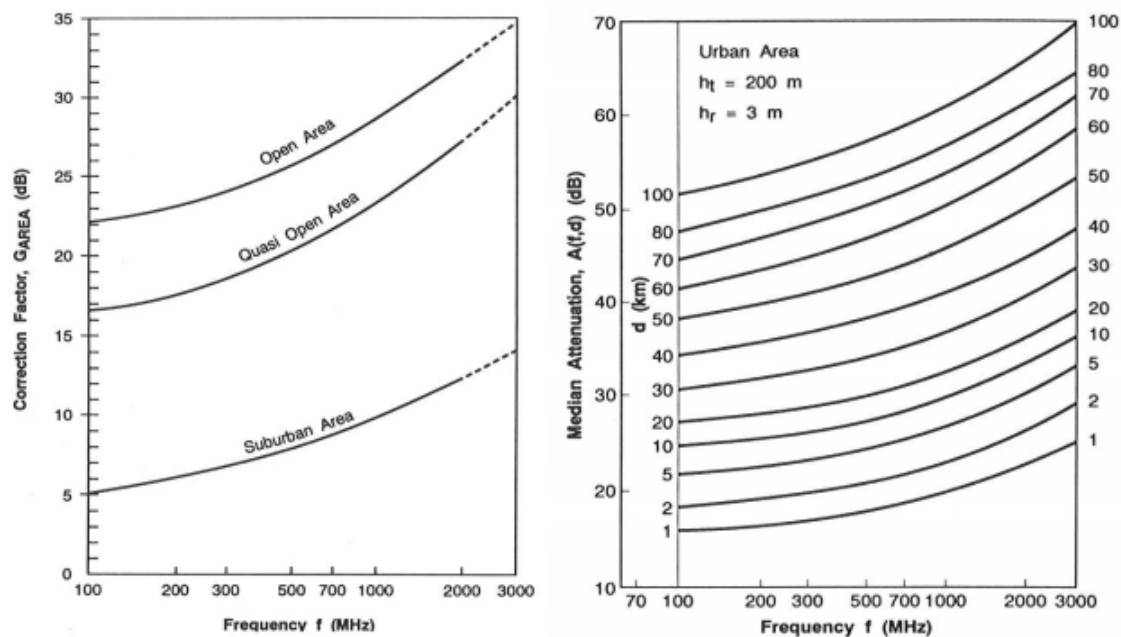
$$L_m(dB) = L_F(d) + A_{mu}(f, d) - G(h_r) - G(h_t) - G_{AREA} \quad (2.1)$$

Kde:

L_f	ztráty šíření ve volném prostoru
A_{mu}	medián útlumu, který je závislý na frekvenci a vzdálenosti základnové stanice k mobilní stanici viz Obr. 2.1
$G(h_r)$	ztráty vzhledem k výšce antény základnové stanice. $G(H_r) = 20\log(h_b/200)$ pro $1000\text{ m} > h_b > 30\text{ m}$, kde h_b je výška antény.
$G(h_t)$	ztráty vzhledem k výšce antény mobilní stanice. $G(h_m) = 10\log(h_m/3)$ pro $h_m \leq 3\text{ m}$, $G(h_m) = 20\log(h_m/3)$ pro $10\text{ m} > h_m > 3\text{ m}$.
G_{AREA}	ztráty závislé na frekvenci v ohledu na oblasti viz Obr. 2.1.

2.2 Hata – Cost 231 model

Hata – Cost 231 je založený na modelu Okumura. Jedná se o model do městského prostředí. Tento model je navržený pro kmitočty od 150 do 2000 MHz, výška antény mobilní stanice 1 – 10m a výška antény základnové stanice 30 – 200 m.



Obrázek 2.1 Grafy pro výpočet modelu Okumura [5]

Ztráty PL(dB) dle Hata – Cost 231 jsou definovány:

$$PL(dB) = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,02 \log(h_b) - a(h_r) + \\ + [44,9 - 6,55 \log(h_b)] \log d + c \quad (2.2)$$

Kde:

f frekvence [MHz]

d vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem

h_b výška antény základnové stanice

h_r výška antény mobilní stanice

$a(h_r)$ útlum vztažený k výšce antény mobilní stanice a je definován $a(h_r) = (1,1 \log(f) - 0,7 h_r - (1,58 f - 0,8))$

C konstanta, pro městskou oblast $c = 3$

2.3 Model ITU-R P.1812-4

Tento model šíření byl vytvořen pro popsání volného prostředí bez překážek. Model se používá pro popsání rádiového prostředí nezastavěné oblasti. Tento model je navržený pro frekvence od 30 MHz do 3 GHz. Vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem musí být v rozmezí od 0,25 km do 3000 km.

Základní ztráty šíření L_{bfs} [db] ve volném prostoru jsou definovány jako:

$$L_{bfs} = 92,45 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad (2.3)$$

Korekce zakřivení Země a procentuálního pokrytí místa E_{sp} [db]:

$$E_{sp} = 2,6 \left[1 - \exp\left(-\frac{d}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p}{50}\right) \quad (2.4)$$

Výsledné ztráty šíření L_{b0p} [db] poté jsou:

$$L_{b0p} = L_{bfs} + E_{sp} \quad (2.5)$$

Význam jednotlivých značek je následující:

d	vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem [km]
f	frekvence sinálu [GHz]
p	procentuální pokrytí místa [%]

3 SEZNÁMENÍ S PRORAMEM ICS DESIGNER

Program ICS Designer byl vyvinut firmou ATDI, která se zaměřuje na návrh rádiových sítí a jejich simulace. Program ICS Designer disponuje mnoha funkcemi. Dají se zde navrhovat sítě pro televizní a rozhlasové sítě, mobilní sítě starší i nové generace, rádiové spoje, ale také satelity spoje. V následujících kapitolách bude představen program ICS Designer a budou ukázány nejdůležitější funkce pro návrh rádiové mobilní sítě čtvrté generace LTE.

3.1 Mapové podklady

Pro návrh mobilní sítě LTE jsou nutné dobré kartografické a geologické údaje pro oblast, pro kterou se síť navrhuje. Mapové podklady se získávají z internetových map např. Google nebo Bing, které jsou nejrozšířenější, ale i dalších map z jiných serverů.

3.1.1 Geografická mapa

Na stránkách společnosti ATDI jsou k dispozici geografické podklady, se kterými dokáže program pracovat. Geografické údaje jsou dostupné pro mnoho zemí světa, mimo jiné i pro Českou republiku. Český úřad zeměměřický a katastrální poskytuje geografické údaje o České republice, ale poskytnutí je zpoplatněno. Tyto podklady budou jistě podrobnější než podklady od ATDI, ale pro účely této diplomové práce, budou vyhovovat podklady od ATDI.

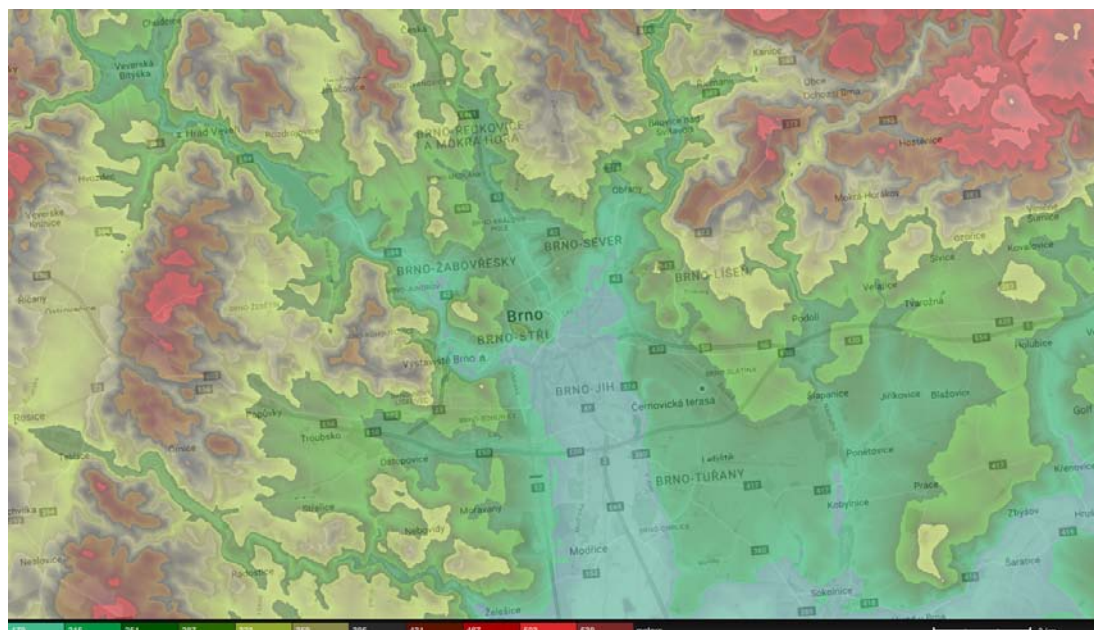
Na obr. 3.1 je vidět barevná geografická mapa, podložená mapou Google, Brna a okolí. Ve spodní části vidíme legendu a měřítko.

3.1.2 Clutter layer

Tato vrstva určuje, co se na mapě nachází (budova, silnice, les, park, volné prostranství, vodní plocha atd.) Tato vrstva je také dostupná na stránkách ATDI, ale tato vrstva nebyla tak podrobná, a proto se tato vrstva aktualizovala z OSM souboru, který je voně dostupný z <http://extract.bbbike.org>. V programu je nástroj pro konverzi na podporovaný formát. Na obr. 3.2 je ukázka této vrstvy.

Ve spodní části obrázku je legenda. Vrstva 9 označená červeně označuje střechu budovy, vrstva 11 značí silnici, zelená vrstva je zeleň (les, park), modrá značí vodní plochu a neoznačená místa jsou volná prostranství.

V nastavení této vrstvy se dají editovat vlastnosti těchto prvků. Můžeme v nich měnit výšku prvků, barvu, jakou se budou vykreslovat do mapy, a v neposlední řadě program umožňuje nastavit útlum těchto prvků. Útlum se dá nastavit ručně nebo se dá použít přednastavené nastavení. Např. podle CCIR.



Obrázek 3.1 Geografická mapa



Obrázek 3.2 Vrstva Clutter

3.1.3 Building layer

Důležitou součástí programu je vrstva nazvaná Building layer. Tato vrstva obsahuje přesné údaje o rozměrech budov. Tato vrstva umožňuje 3D zobrazení oblasti. Toto 3D zobrazení dává přesné údaje o rozložení budov ve zkoumané oblasti a díky těmto údajům se zkvalitní i výsledné simulace. Bohužel se nepodařilo získat tyto údaje pro Českou republiku. Na obr. 3.3 je vidět ukázka 3D modelu.



Obrázek 3.3 3D model [7]

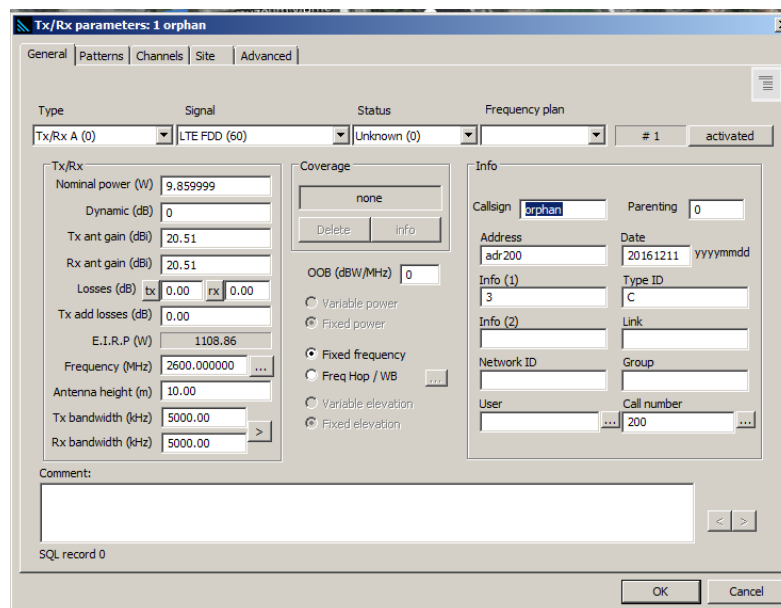
3.2 Vytvoření eNodeB

Pokud se vytváří mobilní komunikační síť, je dobré znát o dané oblasti co nejvíce. Pomocí ICS Designeru se na mapě najde nejvhodnější místo pro umístění obecné základnové stanice v dané lokalitě. Nejlepší místa pro umístění stanice jsou na střechách vysokých domů, kde se signál šíří všemi směry a není tlumen nějakou překážkou. Na vybraném místě na mapě se umístí základnová stanice. Po umístění stanice na mapu, se provede nastavení parametrů této stanice. Až v nastavení parametrů základnové stanice se určí, o jaký typ základnové stanice se jedná. Na obrázcích 3.4 a 3.5 jsou vidět parametry, které se dají nastavit.

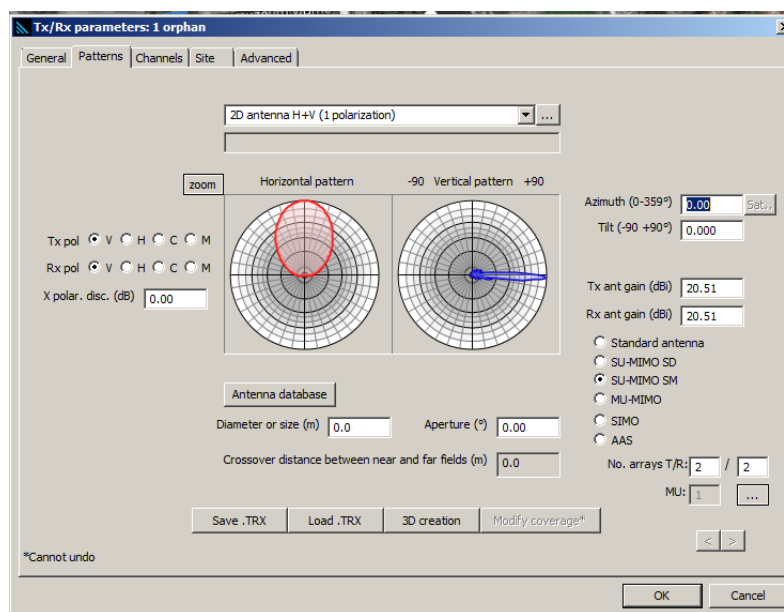
V první záložce General se nastavuje, o jaký typ stanice se jedná, respektive se zde nastavuje použitá modulace signálu. Následně se nastaví výkon stanice, pracovní frekvence, šířka pásma, výška antény a zisk. Program umožňuje nastavit případné ztráty ve vysílači.

V další záložce Patterns se zvolí tvar vyzařovacích charakteristik v horizontálním i vertikálním směru. Program poskytuje velké množství předem definovaných vyzařovacích diagramů nebo si může uživatel vytvořit jakýkoliv diagram podle svých představ. Uživatel vytvořené diagramy se dají uložit a později znovu použít. V této záložce se nastaví také natočení stanice v horizontálním a vertikální směru.

V dalších záložkách jsou specifikace frekvencí a kanálů, geografická pozice základnové stanice a v poslední záložce jsou pokročilejší nastavení stanice, jako je např. přenášený výkon.



Obrázek 3.4 Parametry eNodeB, záložka General



Obrázek 3.5 Parametry eNodeB, záložka Pattern

3.3 Nastavení eNodeB

Aby mezi sebou základnové stanice správně komunikovali a mezi sebou se neovlivňovali, je potřeba provést jejich nastavení. Dále se musí nastavit podmínky pro handover.

Aby každá základnová stanice dobře fungovala, musí každá stanice vědět o druhé. Program umožňuje jednoduché zjištění pozic stanic v okolí. Po zjištění sousedních

stanic se vygeneruje Physical Layer Cell Identities a každá stanice dostane svoji identifikaci.

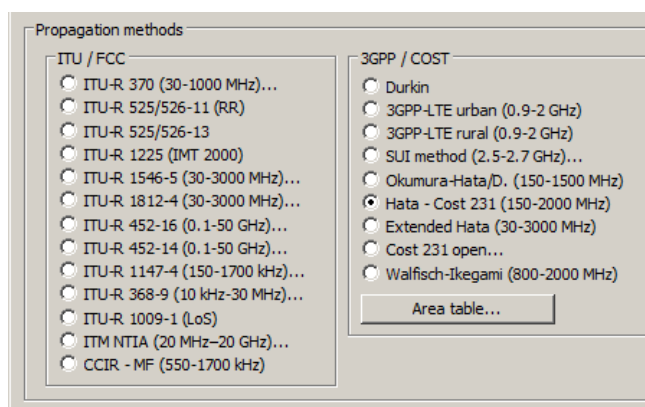
Každý účastník má při hovoru přidělenou kódovou sekvenci, díky níž dokáže dekódovat signál. Sekvence jsou pro účastníky rozdílné, aby nedošlo ke kolizi dvou stejných sekvencí. Proto je potřeba nastavit sekvence pro každou stanici.

3.4 Simulace

Pokud je vytvořená mobilní síť pro danou oblast, provede se série výpočtů, které ukáží kvalitu navržené mobilní sítě. ICS Designer umožňuje simulovat nejrůznější parametry sítě jako je síla signálu, pokrytí, propustnost atd. V dalších kapitolách si některé ukážeme.

3.4.1 Síla signálu

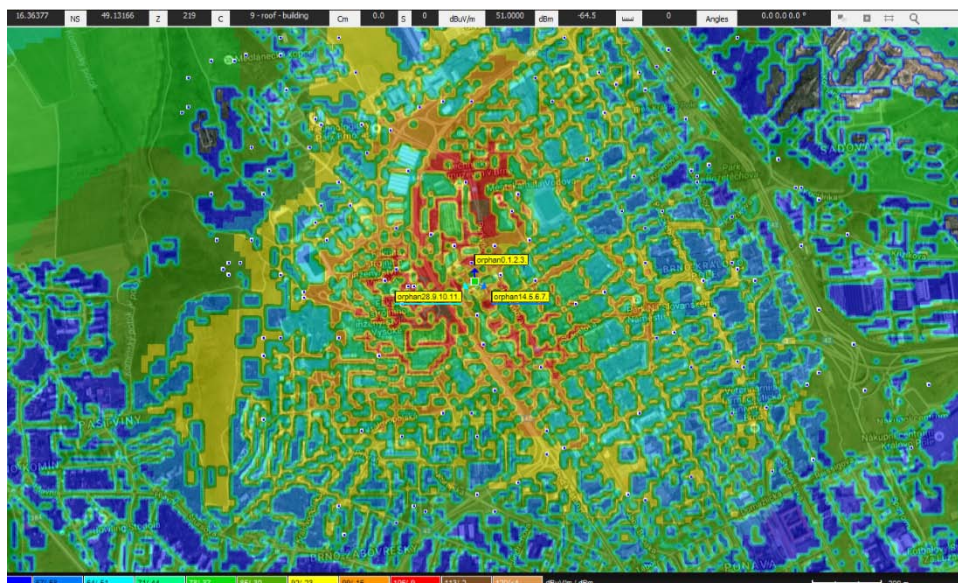
Nejprve se provede analýza síly signálu. Před simulací se musí nastavit jakým modelem šíření se bude počítat. Program dává na výběr z mnoha modelů od společnosti ITU či 3GPP. Na obr. 3.6 je jejich výčet. Pro městskou oblast je nejvhodnější model Hata – Cost 231.



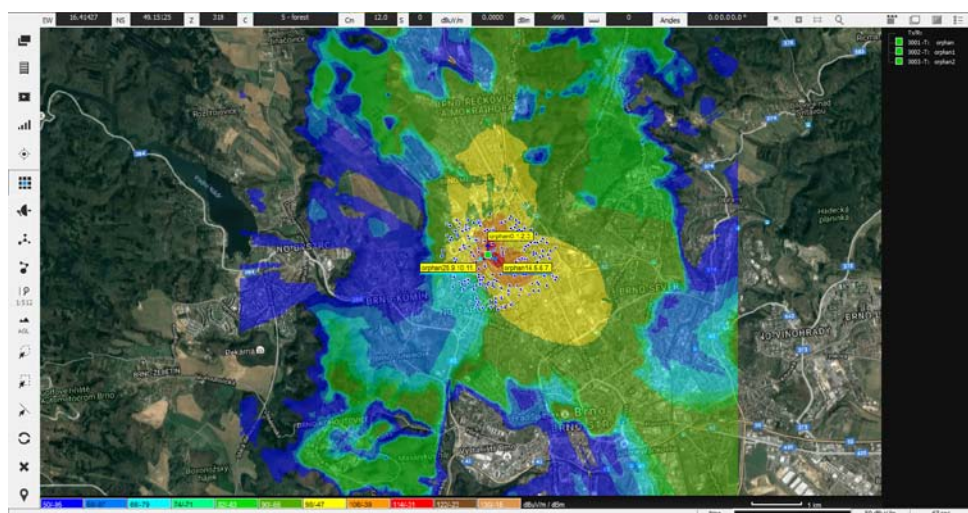
Obrázek 3.6 Modely šíření

Po nastavení modelu šíření proběhne simulace. Příklad výsledku simulace s modelem Hata – Cost 231 je vidět na obr. 3.7. Ve spodní části obrázku je zobrazen legenda s měřítkem. Čím tmavší červená barva tím je signál nejsilnější a naopak čím tmavší modrá tím je signál slabší. Na obrázku je vidět, že je úroveň signálu největší u základnové stanice. Dále je vidět jak se signál šíří mezi budovami po ulicích. Naopak na střeších budova daleko od základnové stanice je signál mnohem slabší.

Na dalším obrázku 3.8 je výsledek simulace s modelem ITU 1812 – 4, který je vhodný na volný terén bez překážek. Po porovnání obou simulací zjistíme, že model ITU nezohledňuje budovy, bere oblast jako rovnou plochu bez budov.



Obrázek 3.7 Rozložení signálu na mapě modelu Hata – Cost231



Obrázek 3.8 Rozložení signálu na mapě modelu ITU 1812 - 4

3.4.2 RSRP coverage analysis

Resource Signal Received Power (RSRP) je definovaný jako lineární průměr výkonů příspěvků z Resource elements, které přivádějí referenční signály v uvažované šířce pásma. Na obr. 3.8 je výsledek RSRP analýzy pokrytí signálu. Údaj pokrytí je v procentech, čím větší procento tím větší je pravděpodobnost pokrytí.



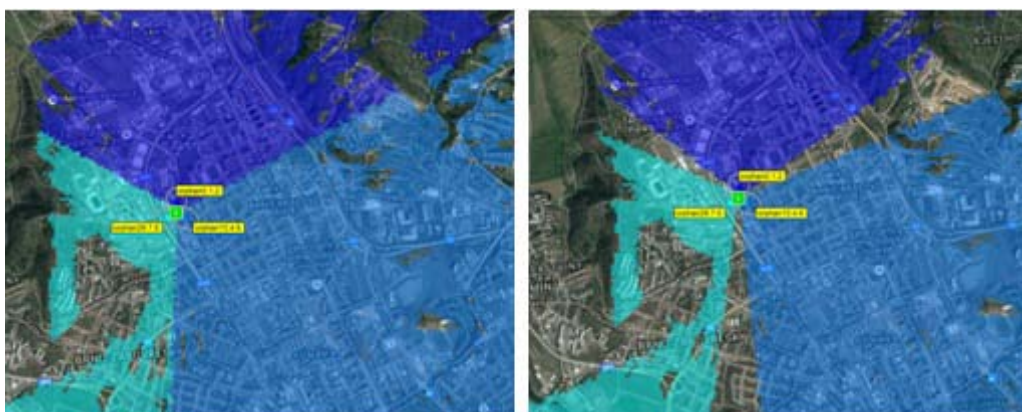
Obrázek 3.9 RSRP coverage analysis

3.4.3 Simulace interferencí

ICS Designer umožňuje spočítat různé druhy intermodulací.

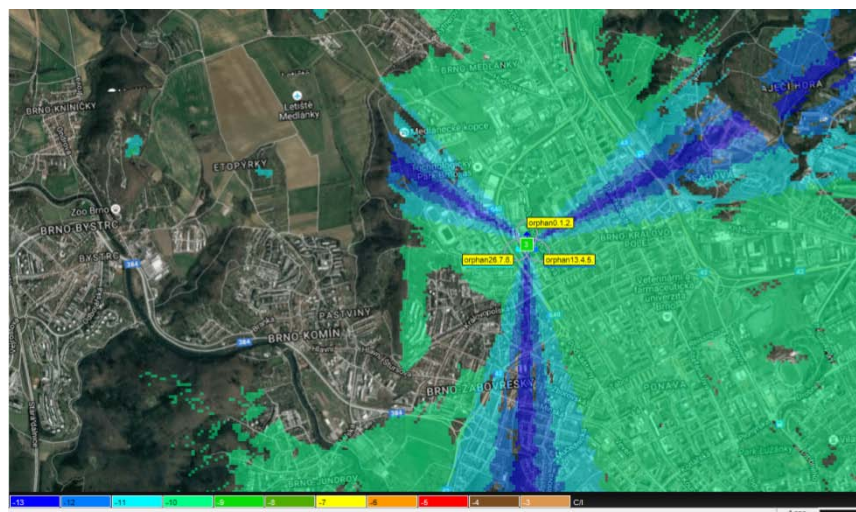
Na obr. 3.9 vlevo je simulace poměru SNIR kanálu PDSCH. Obrázek ukazuje tři oblasti, ve kterých je SNIR lepší nebo roven -9 dB. Jsou to oblasti, kde nedochází k interferencím.

Na obr. 3.9 vpravo je SNIR pro kanál PDCCH, kde je zjevné, že dochází k interferencím mezi sektory.



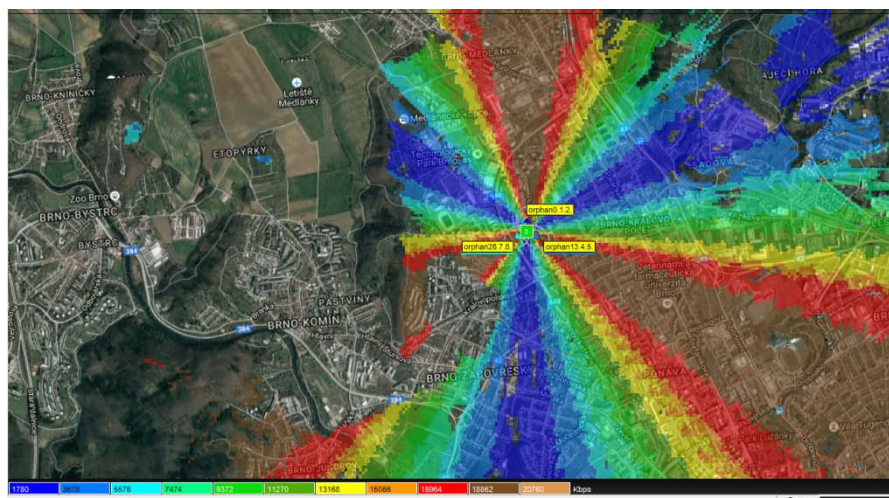
Obrázek 3.10 Interference

Na následujícím obr. 3.10 je zobrazena mapa RSRQ (Reference Signal received Quality). Jedná se o poměr mezi RSRP a RSSI.



Obrázek 3.11 RSRQ

Z údajů SNIR se analyzuje propustnost navržené sítě. Mapa propustnosti je vidět na obr. 3.11. Ve spodní části obrázku je legenda označující přenosovou rychlost.



Obrázek 3.12 SNIR

3.4.4 Účastníci

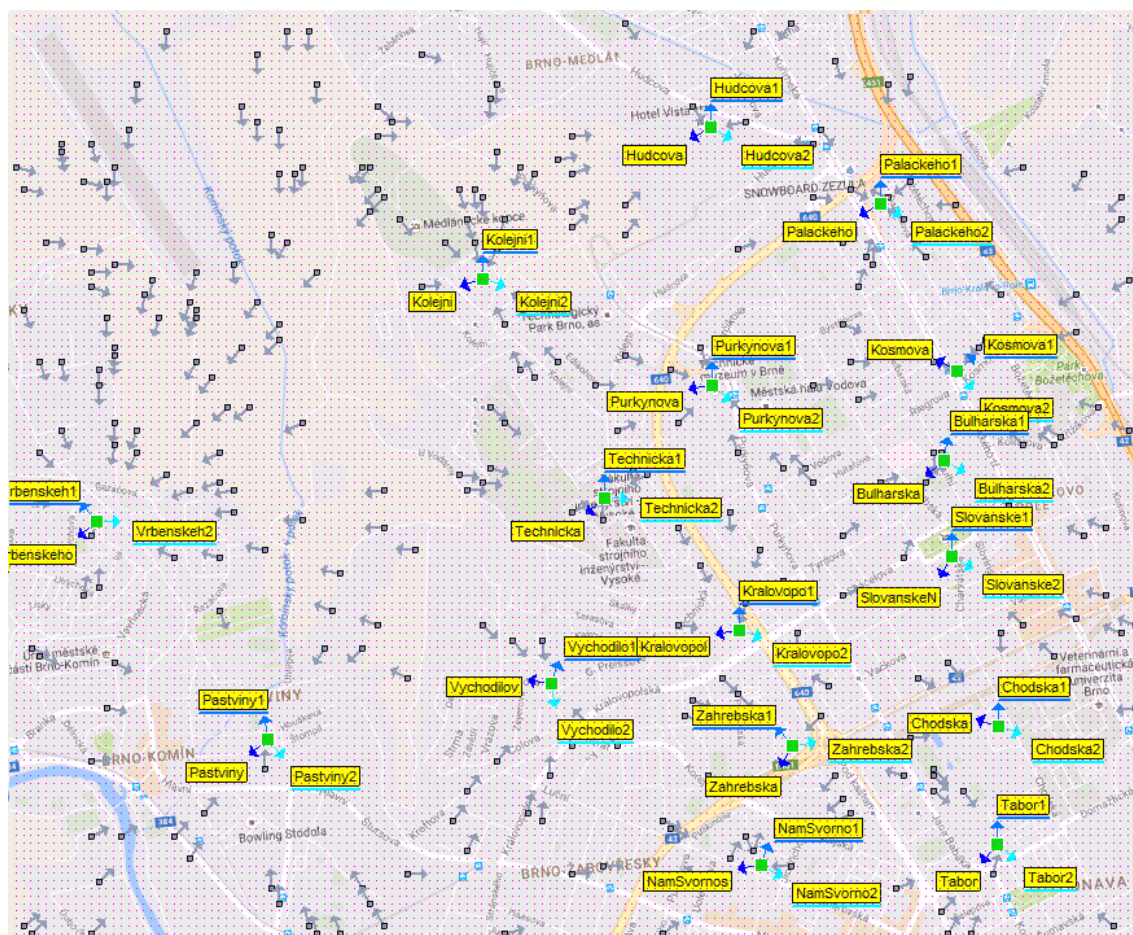
V ICS Designeru je možnost vygenerovat účastníky ve zkoumané oblasti. Tito účastníci umožní simulovat chování navrhované rádiové sítě a zhodnotit případně změny v síti. Program dokáže spočítat útlum signálu či interference pro každého účastníka. To odhalí případné stíny za budovami apod.

4 NÁVRH VLASTNÍ MOBILNÍ SÍTĚ LTE

Tato kapitola je věnována praktickému návrhu rádiové části mobilní sítě LTE, který vznikl za pomoci programu ICS Designer. Mobilní síť je navržena pro část Brna, konkrétně pro VUT campus, část Králova pole a přilehlého okolí.

4.1 Umístění eNodeB do lokality

Před samotným návrhem mobilní sítě bylo nutné obeznámit se s programem ICS Designer a jeho funkcemi. Následně bylo nutné seznámení se se zájmovou oblastí, ve které se plánovaná mobilní síť má nacházet. Po seznámení jsem rozmístil eNB do mapy. ENB jsem umisťoval na střechy budov. Vybíral jsem, pokud bylo možné, nejvyšší budovy, to aby bylo dosaženo širokého pokrytí. Při umisťování eNB jsem musel brát v potaz hustotu obyvatel, protože v centru města je hustota zalidnění větší, tudíž je potřeba udělat i síť hustší. Na obrázku 4.1 je vidět rozmístění eNB v zadané lokalitě. Do zadané lokality jsem rozmístil 48 eNB.



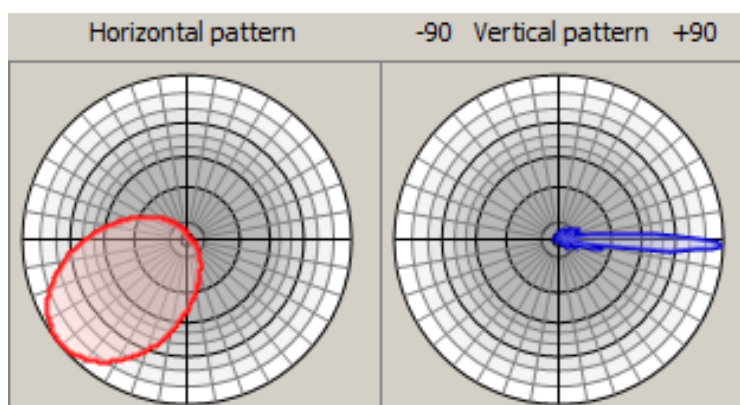
Obrázek 4.1 Rozmístění eNodeB v zadané lokalitě

4.2 Nastavení paramterů eNB a celé sítě

Po rozmístění eNB stanic jsem provedl jejich nastavení. Bohužel se nepodařilo sehnat jejich skutečné parametry, tak se mi jako dostačující východisko zdálo použít materiály přímo z programu ICS Designer. Tyto parametry jsem pak získal z tutoriálu na návrh sítě LTE. Parametry všech eNB jsou totožné, jejich hodnoty jsou obsaženy v tabulce 4.1. Vyzařovací diagramy antén v horizontálním a vertikálním směru, které jsou vidět na obrázku 4.2, byly také převzaty z tutoriálu. Použité antény jsou směrové s úzkým lalokem. Tyto parametry se od skutečných mohou lišit, ale pro potřeby této diplomové práce jsou dostačující. Stejné parametry jsou použity i v simulacích stávající mobilní sítě společnosti T-Mobile.

Tabulka 4.1 Parametry eNodeB

Parametr	Hodnota
Nominální výkon	9,86 W
Zisk antény Tx	20,51 dB
Zisk antény Rx	20,51 dB
Šířka pásma Tx	5000 kHz
Šířka pásma Rx	5000 kHz
E.I.R.P	1108,86 W
Frekvence	800 MHz
Modulace	64 QAM
Signál	LTE FDD



Obrázek 4.2 Vyzařovací charakteristiky antény eNodeB

Jakmile jsem nastavil eNB, bylo zapotřebí udělat několik dalších kroků pro nastavení celé sítě. Program ICS Designer má pro nastavení takovéto sítě poměrně jednoduché

(snadno ovladatelné) nástroje. V prvním kroku se vygeneroval takzvaný Neighbour list, díky němuž se v tento moment eNB dozvěděly o dalších stanicích kolem sebe (viz příloha A.1). Následně byla spuštěna Physical Cell Identity (PCI) alokace, která vygenerovala identifikační čísla pro eNB, která jsou pro každou eNB odlišná (viz příloha A.2). Dalším krokem bylo přidělení indexu rootovací sekvence (Root Sequence Index). Rootovací sekvence se vygenerovala z PRACH tabulky 4.2. Přidělené rootovací sekvence k eNB jsou v příloze A.3.

Po těchto krocích je celá mobilní síť nastavená, tudíž následující úkonem je její zanalyzování.

Tabulka 4.2 PRACH parametry sekvence ZC (Zadoff-Chu) ze specifikace 3GPP

PRACH konfigurační index	Číslo rootovacích sekvencí na buňku	Poloměr náhodného přístupu [km]
1	1	0,7
2	2	1
3	2	1,4
4	2	2
5	2	2,5
6	3	3,4
7	3	4,3
8	4	5,4
9	5	7,3
10	6	9,7
11	8	12,1
12	10	15,8
13	13	22,7
14	22	38,7
15	32	58,7
0	64	118,8

4.3 Analýza navrhnuté mobilní sítě

Program ICS Designer disponuje mnoha analýzami, kterým se může mobilní síť podrobit. Nejprve jsem provedl analýzu výkonu signálu, poté analýzu interferencí a propustnosti sítě. Dále jsem vygeneroval mobilní účastníky a analyzoval síť z jejich pohledu. Díky těmto analýzám jsem pak provedl optimalizaci sítě. Síť tak získala svou konečnou podobu.

4.3.1 Analýza výkonu referenčního signálu RSRP

Program využívá pro analýzu signálu, jak je vidět v kapitole 3.1, mapové a geografické podklady, které se dají editovat (upravovat). Pro výpočet analýzy je velmi důležitý

model šíření rádiového signálu (viz kapitola 3.4.1).

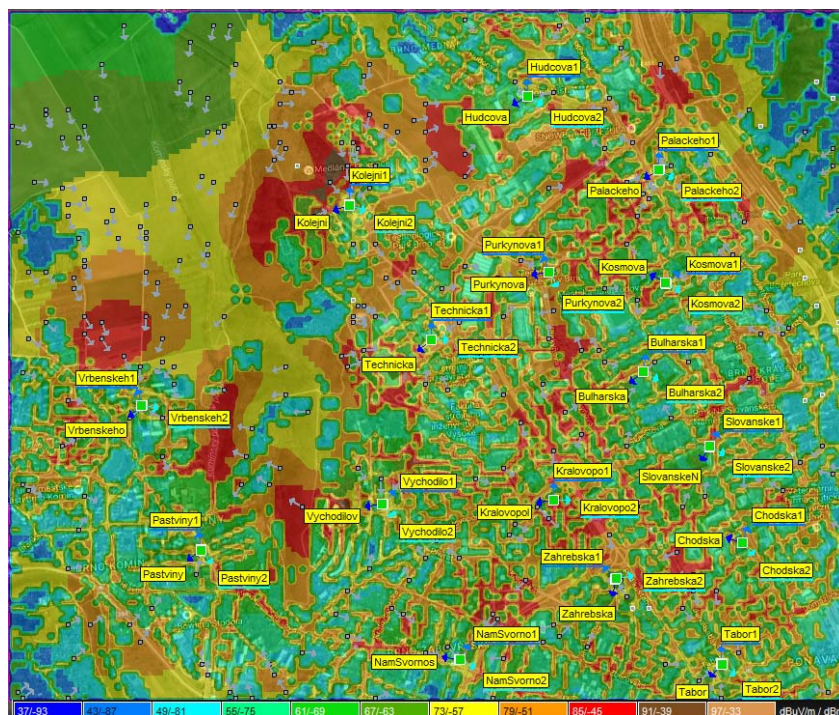
Před začátkem samotného analyzování jsem provedl nastavení modelu šíření a clutter vrstvy. V nastavení clutter vrstvy jsem definoval, jak vysoké budou budovy, lesy a ostatní objekty, které se v dané lokalitě nacházejí. Podle těchto výškových údajů se automaticky podle CCIR nastaví útlumy těchto objektů. Poté jsem si vybral ze seznamu modelů šíření model Okumura Hata. Ještě připadal v úvahu model Hata Cost 231, který je také vhodný do městských oblastí, avšak tento model je příliš „optimistický“. Pro návrh mobilní sítě je zcela jistě vhodnější model s horšími výsledky, vytvoříme si tím jakousi rezervu, se kterou je třeba počítat, avšak výsledek může být pozitivnější. Program umožňuje i simulaci deště a odzkoušení si různých povětrnostních podmínek, které se mohou mít vliv na provoz mobilní sítě. Jako poslední jsem nastavil v jaké výšce nad zemí má proběhnout výpočet. Český telekomunikační ústav (ČTÚ) provádí měření pokrytí signálu ve výšce 1,5 a 3m, já jsem zvolil výšku 1,5 m, protože průměrná výška člověka je 1,7 m, k čemuž je nejbližší mnou vybraných 1,5 m.

Na obrázcích 4.3 a 4.4 jsou vidět výsledky simulací s použitím modelů Okumura Hata a Hata Cost 321. Na spodní straně obrázků pak vidíme legendu. Na těchto výsledcích lze pozorovat zcela evidentní, výše zmiňovaný, rozdíl ve výpočtech těchto dvou modelů. Z legendy je patrné, že místa označená studenými barvami ukazují nižší intenzitu signálu, naopak místa s teplými barvami ukazují signál s vyšší intenzitou. Signál má pak největší intenzitu u eNB. S tím, jak se signál od eNB šíří, tak se intenzita snižuje. Z výsledků simulace si lze také povšimnout, že má signál velkou intenzitu v ulicích a ve volném prostoru (louky, pole apod.), naopak v místech, kde stojí budova je slabší. Minimální výkonová úroveň referenčního signálu RSRP je pro pásmo 800 MHz, podle ČTÚ, -109 dBm. Jak je vidět na výsledcích simulací na obrázku 5.2, tak je toto kritérium splněno, až na malá území, která by dokryla další eNB.

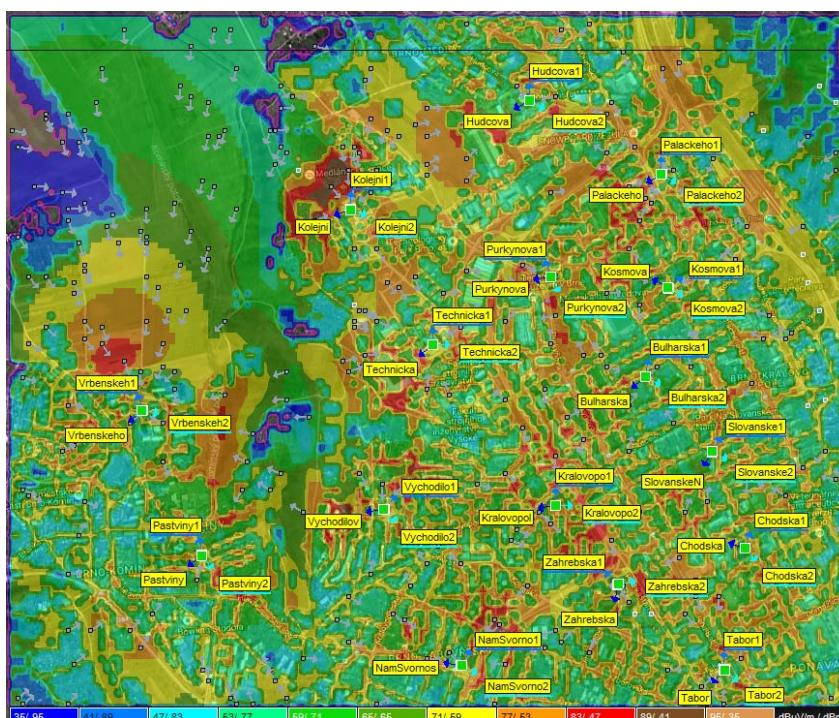
4.3.2 Analýza interferencí a propustnosti

Dále jsem podrobil moji navrhnutou síť analýzami interferencí a propustnosti. Interference v programu jsou interpretovány poměrem SINR a z tohoto poměru se vypočítává i propustnost sítě. Na obrázku 4.5 jsou zobrazeny sektory, ve kterých je poměr SINR větší nebo roven úrovni -5 dB. Tato hodnota, je podle ČTÚ, nejmenší možná úroveň poměru SINR. Poměr SINR je lepší jako referenční hodnota téměř v celé oblasti. Některá místa by byla pokryta dalšími eNB mimo tuto oblast.

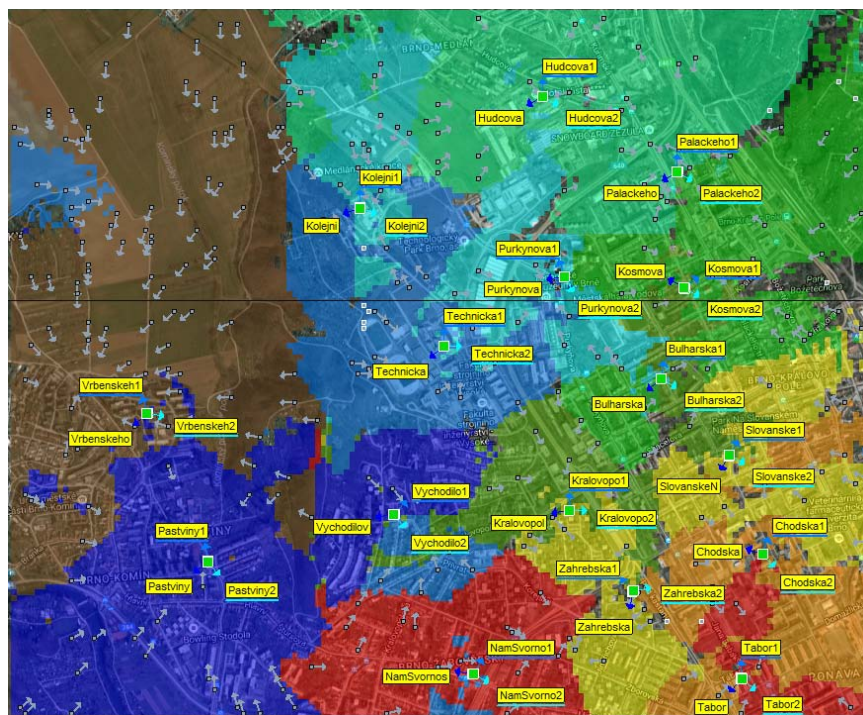
Jak už bylo řečeno, tak se propustnost sítě vypočítává z poměru SINR. Na obrázku 4.6 je zobrazena propustnost v navrhované oblasti. Podobně, jako tomu bylo u síly signálu, lze z legendy vyčíst, že místa označená studenějším barevným odstínem ukazují menší propustnost, než místa vyznačená teplými odstíny barev. Ta naopak ukazují propustnost velkou. Navržená mobilní síť je v některých místech rychlá až 4 Mbps. V oblastech s větší hustotou eNB je rychlost o poznání menší (1 Mbps).



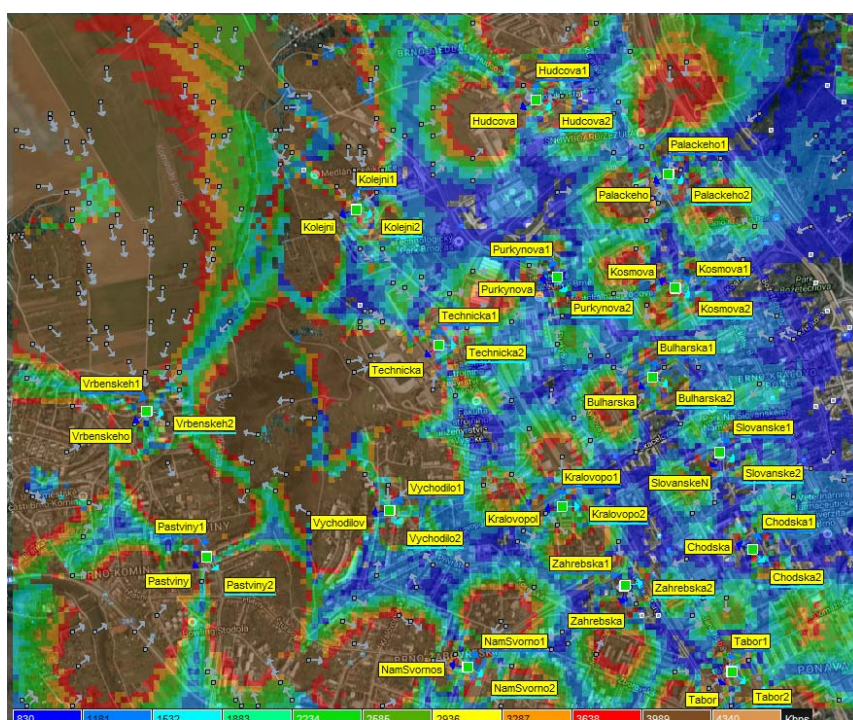
Obrázek 4.3 Analýza síly signálu, model Hata Cost 231



Obrázek 4.4 Analýza síly signálu, model Okumura Hata



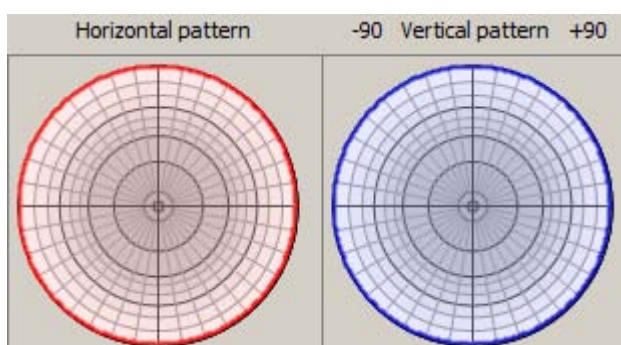
Obrázek 4.5 $\text{SINR} \geq -5\text{db}$



Obrázek 4.6 Propustnost sítě

4.3.3 Telefonní účastníci

Program ICS Designer má umožňují také analýzu mobilní sítě i z pohledu telefonních účastníků. V zadané lokalitě jsem vygeneroval 300 účastníků (číslo je náhodné, slouží pro demonstraci návrhu sítě LTE). Tyto participanty jsem podrobil několika analýzám. Pozice participantů se vygenerovaly v dané oblasti náhodně. Konkretizoval jsem pouze, na kterých místech se mají nacházet (ulice, les, volné prostranství apod.). Všem účastníkům jsem zadal stejné parametry, neboť mezi výkonovými parametry mobilních telefonů není velký rozdíl, viz tabulka 4.3. Nepodařilo se mi získat přesné výkonové hodnoty, proto jsem použil obecné hodnoty, které se vyskytují v literaturách. Mobilní telefony jsou vybaveny všesměrovou anténou, kterou jsem zvolil i já, vyzařovací charakteristika je na obrázku 4.7.



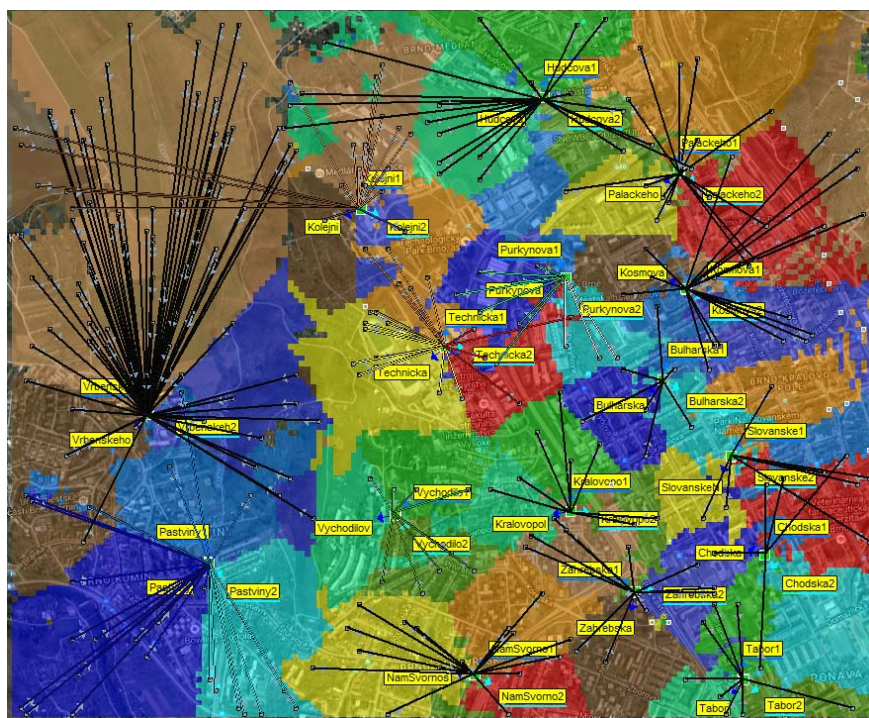
Obrázek 4.7 Vyzařovací diagram

Tabulka 4.3 Parametry účastníků

Parametr	Hodnota
Nominální výkon	2 W
Výška antény	1,5 m
Frekvence	800 MHz
Modulace	64 QAM
Signál	LTE FDD

Po vygenerování účastníku jsem spustil proces zvaný parenting. Tento proces zajistil spojení mezi účastníky a eNB, mezi kterými by se realizoval hovor. Na základě kvality signálu proběhlo ideální spojení mezi participantem a eNB. Propojení eNB a účastníků je pak ukázáno na obrázku 4.7. Na obrázku je také vidět rozdělení území na jednotlivé sektory, které jsou ovládány jednou eNB. Počet sektorů je tím pádem stejný jako eNB. Tímto procesem se rovněž vygeneroval parenting list, viz příloha A.4. V parenting listu jsou zapsané údaje o vzdálenosti účastníka od eNB, velikost přijímaného výkonu v dBm, jméno eNB, ke které je účastník připojen, spolehlivost

spojení apod. Dále jsem účastníky podrobil analýze kvality spojení (connectivity report), jejímž výstupem je souhrnný přehled o kvalitě spojení, viz příloha A.5. V tomto přehledu jsou výsledky z analýzy síly referenčních signálů, interferencí a propustnosti pro každého účastníka zvlášť.



Obrázek 4.8 Propojení účastníků s eNB

4.4 Porovnání simulací s výpočty

Pro ověření správnosti simulací, jsem provedl některé výpočty. Nejprve jsem ověřoval přijímanou sílu signálu pro konkrétního účastníka za pomoci radiotelekomunikační rovnice. Následně jsem provedl výpočty ztrát šíření pro stejného účastníka, jako v předchozím výpočtu.

4.4.1 Radiotelekomunikační rovnice

Radiotelekomunikační rovnice udává poměr přijatého a přeneseného výkonu v závislosti na daný zisk antén přijímače a vysílače, vzdálenosti mezi nimi a frekvenci signálu. Rovnice je definovaná takto:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t * G_r * \left(\frac{c}{4 * \pi * R * f}\right)^2 \quad (4.1)$$

Kde:

P_t	vysílací výkon
G_r	zisk vysílací antény
P_r	přijímaný výkon
G_t	zisk přijímací antény
R	vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem
c	rychlost světla
f	frekvence

V decibelové míře a po vyjádření P_t je potom rovnice 4.1 upravena do tvaru:

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dBi) + G_r(dBi) + 10 * \log \left[\left(\frac{c}{4 * \pi * R * f} \right)^2 \right] \quad (4.2)$$

Na obrázku 4.9 je vidět spojení mezi eNB Vrbenského 1 a účastníka s názvem adr604. Je zde zobrazen profil šíření signálu a pod profilem jsou parametry přijímače, vysílače a parametry spoje. Z programu ICS Designer jsem zjistil potřebné hodnoty parametrů, které jsou potřebné pro výpočet telekomunikační rovnice, a provedl jsem její výpočet.

Znamé hodnoty:

$f = 800 \text{ MHz}$

$R = 1640 \text{ m}$

$P_t = 501 \text{ W} \rightarrow 57 \text{ dBm}$

$G_t = 20,51 \text{ dBi}$

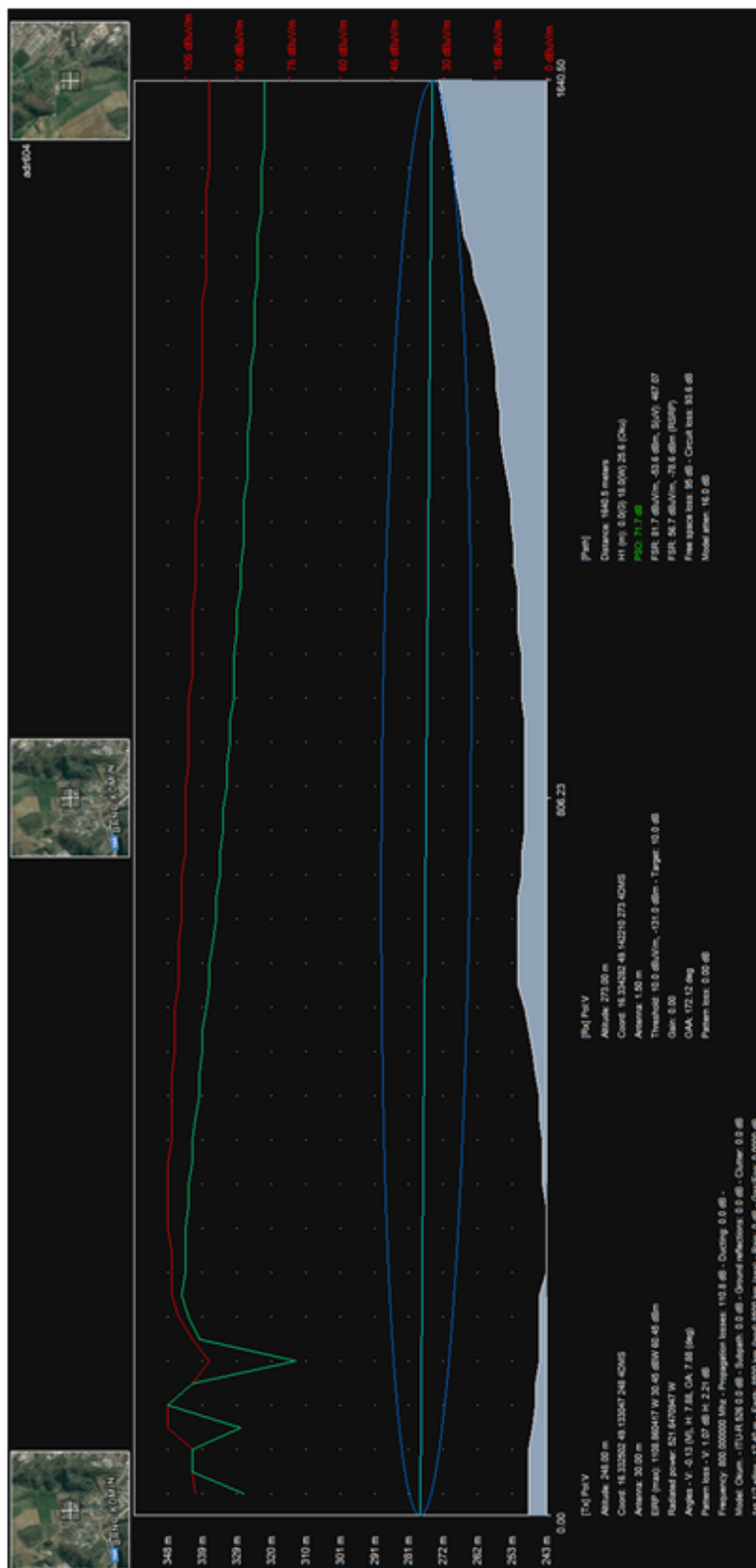
$G_r = 0 \text{ dBi}$

$c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$

po dosazení do rovnice 4.2:

$$\begin{aligned} P_r(dBm) &= P_t(dBm) + G_t(dBi) + G_r(dBi) + 10 * \log \left[\left(\frac{c}{4 * \pi * R * f} \right)^2 \right] = \\ &= 57 + 20,51 + 0 + 10 * \log \left[\left(\frac{3 * 10^8}{4 * \pi * 1640 * 800 * 10^6} \right)^2 \right] = \\ &= -17,29 \text{ dB} \end{aligned}$$

Z analýzy spojení (obrázek 4.9), program spočítal přijímaný výkon -43,6 dBm. Mnou provedený výpočet vyšel -17,29 dB, což je značný rozdíl. Chyba je způsobena tím, že program ICS Designer využívá složitějších matematických operací pro tento výpočet a do výpočtu také zahrnuje útlumy okolí. Telekomunikační rovnice neuvažuje se ztrátami v okolí. Rovnice slouží k orientačnímu výpočtu.



Obrázek 4.9 Analýza spoje mezi eNB a účastníkem

4.4.2 Výpočet modelu šíření

Výpočtem jsem podrobil i model šíření Okumura Hata. Výpočet jsem provedl pro účastníka, jako v předchozím výpočtu rovnice. Na obrázku 4.10 je vidět výsledek analýzy modelu šíření. Je zde patrné spojení mezi eNB a účastníkem. Pro výpočet ztrát šíření jsem použil rovnici 2.1.

Známe hodnoty:

$$r = 1640 \text{ m}$$

$$f = 800 \text{ MHz}$$

$$c = 8 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$A_{mu} = 20 \text{ dB, získaný z grafu na obrázku 2.1 vpravo}$$

$$h_b = 30 \text{ m}$$

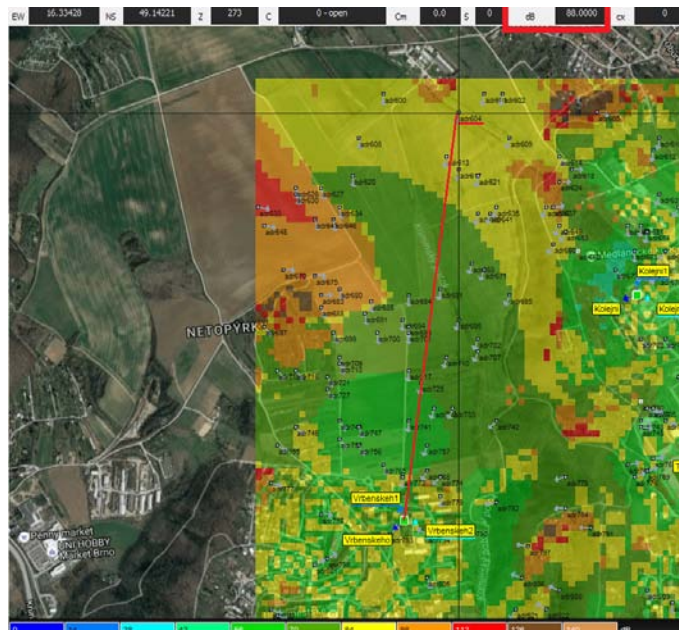
$$h_m = 1,5 \text{ m}$$

$$G_{AREA} = 8 \text{ dB, získaný z grafu na obrázku 2.1 vlevo}$$

Po dosazení do rovnice 2.1:

$$\begin{aligned} L_m(\text{dB}) &= 10 * \log \left[\left(\frac{4 * \pi * f}{c} \right)^2 \right] + A_{mu} - 20 * \log \left(\frac{h_b}{200} \right) - 10 * \log \left(\frac{h_m}{3} \right) - G_{AREA} = \\ &= 10 * \log \left[\left(\frac{4 * \pi * 800 * 10^6}{3 * 10^8} \right)^2 \right] + 20 - 20 * \log \left(\frac{30}{200} \right) - 10 \\ &\quad * \log \left(\frac{1,5}{3} \right) - 8 = 87,3 \text{ dB} \end{aligned}$$

Z obrázku 4.8 je patrný údaj o útlumu 88 dB na pozici účastníka adr604, což téměř odpovídá mému výpočtu, který vyšel 87,3 dB. Pro tuto situaci se výpočet shodoval se simulací.

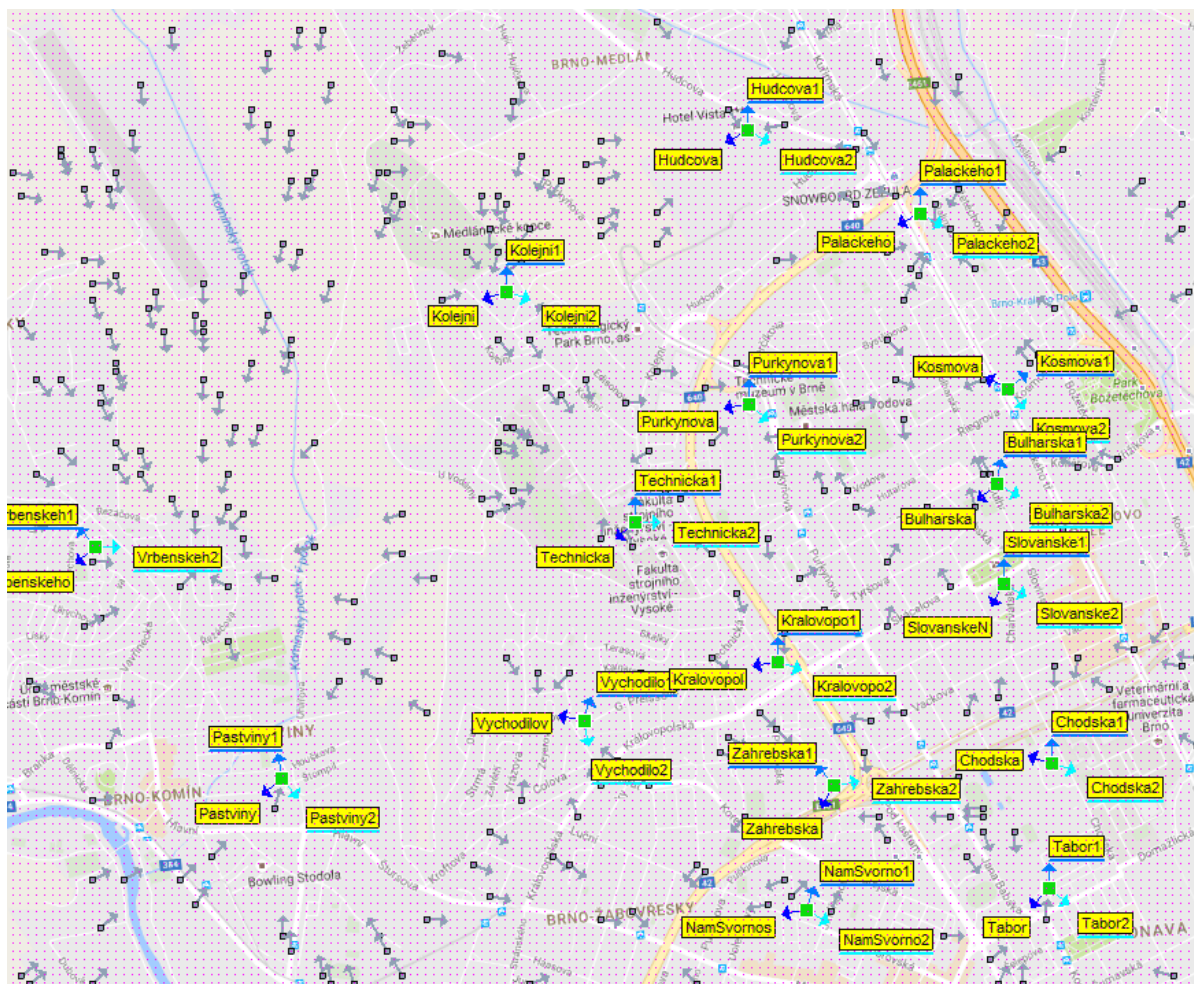


Obrázek 4.10 Analýza modelu šíření

5 ANALÝZA STÁVAJÍCÍ MOBILNÍ SÍTĚ SPOLEČNOSTI T-MOBILE

Pro porovnání mé navrhnuté sítě, jsem analyzoval stejnými postupy a ve stejné lokalitě také stávající mobilní síť společnosti T-Mobile. Bohužel jsem neměl dostupné parametry eNB. Získal jsem pouze mapu rozmístění eNB v zadané lokalitě. Toto rozmístění je získané z programu ROMES. Abych mohl obě sítě adekvátně porovnat mezi sebou, použil jsem stejné parametry pro eNB.

Ze získaného materiálu z programu ROMES jsem mobilní síť překreslil do programu ICS Designer, viz obrázek 5.1. Následně jsem provedl stejné nastavení eNB a celé sítě, jako u mé sítě. Poté přišly na řadu analýzy. Nejprve jsem začal analýzou síly referenčního signálu RSRP, následovala simulace poměru SINR a propustnosti sítě. V poslední řadě jsem celou síť analyzoval z pohledu telefonních účastníků. Telefonní účastníci byli naprosto shodní, jako v mé síti.



Obrázek 5.1 Rozložení eNodeB v dané lokalitě

5.1 Výsledky analýz a jejich porovnání

Po dokončení všech analýz stávající sítě, jsem provedl jejich porovnání s analýzami mé sítě.

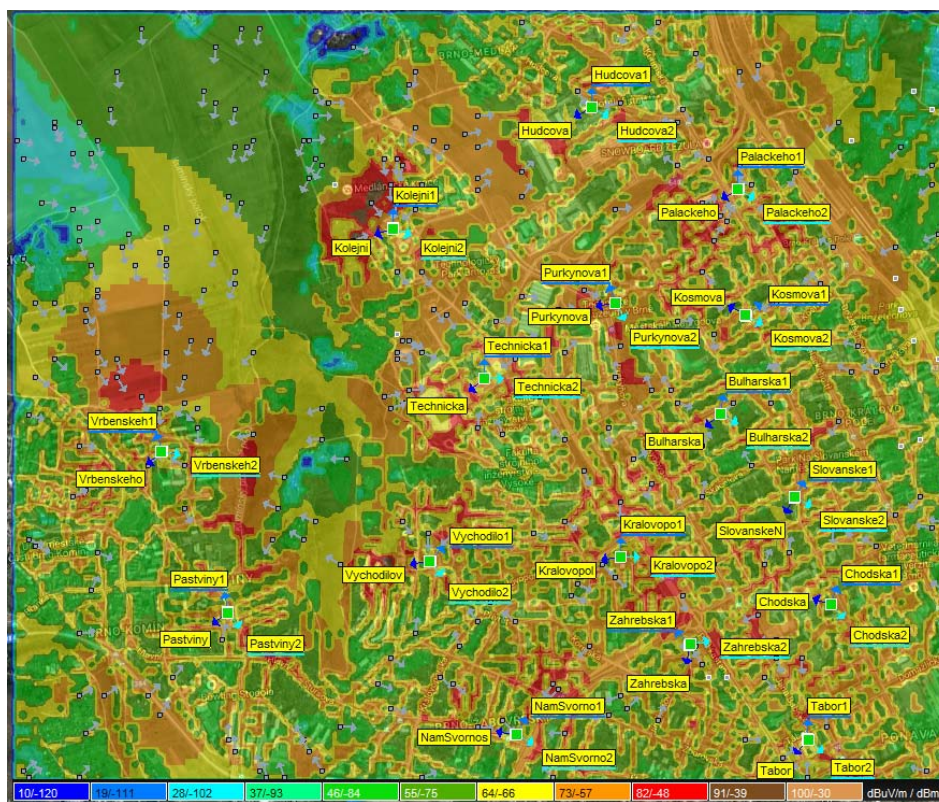
5.1.1 Analýza síly referenčního signálu RSRP

Na obrázcích 5.1 a 5.2 jsou výsledky těchto analýz. Jak je vidět, tak stávající síť splňuje limit pro sílu referenčního signálu RSRP téměř pro celou oblast. Obě analýzy jsou si podobné, až na některé detaily, ve kterých má mnou navržená síť o něco lepší pokrytí nežli stávající.

5.1.2 Analýza SINR a propustnosti

Výsledky analýz poměru SINR ukazují obrázky 5.4 a 5.5. Stávající síť splňuje téměř ve všech oblastech podmínku $\text{SINR} \geq -5$ db. Po zakreslení i dalších eNB mimo zadanou oblast, by se jistě tato místa zaplnila. Má navržená síť má o něco lepší poměr SINR například v oblasti vlevo nahoře.

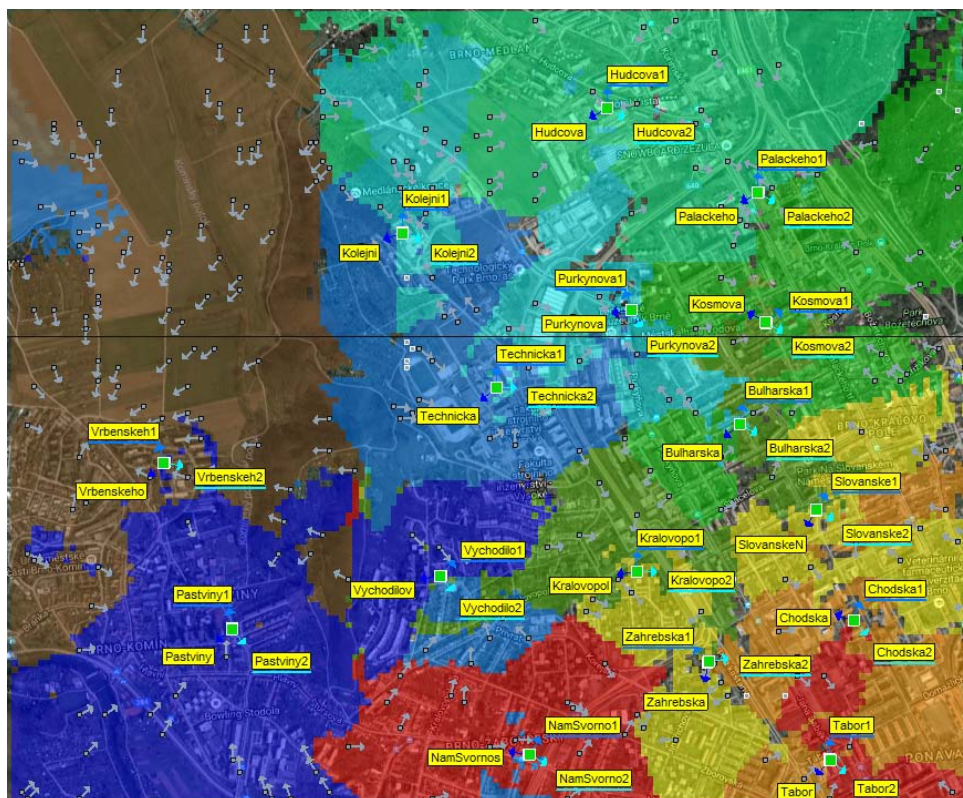
Na dalších obrázcích 5.6 a 5.7 jsou výsledky ze simulací propustnosti. Stávající mobilní síť dosahuje podobných rychlostí, jako navržená. Jako u navržené sítě lze i zde pozorovat, že v místech s větší hustotou eNB je rychlost menší, protože jsou taková místa ovlivněna většími interferencemi. V porovnání s navrženou sítí jsou oblasti s velkou propustností menší. Navržená síť je o něco rychlejší nežli stávající síť.



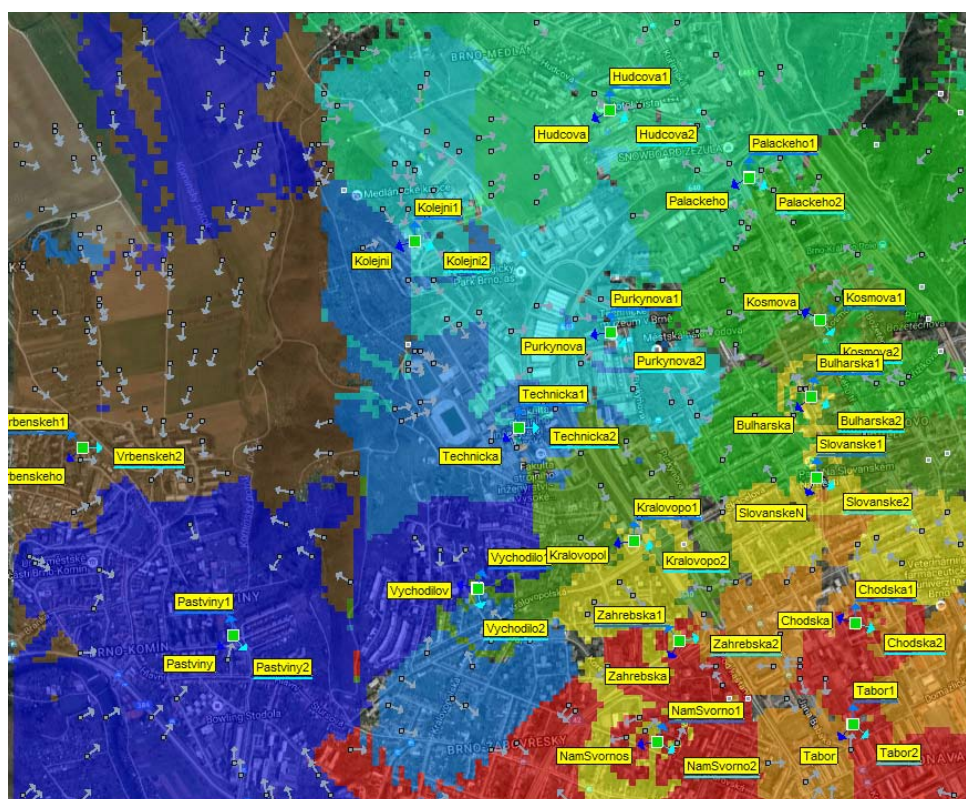
Obrázek 5.2 Analýza síly referenčního signálu RSRP, navržená síť



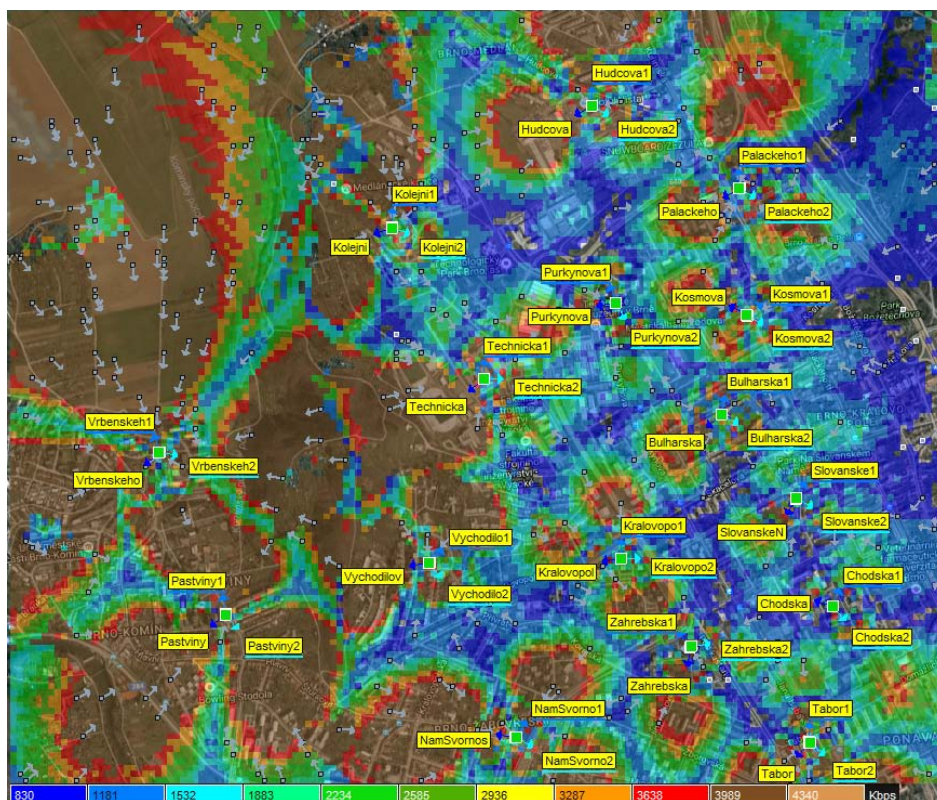
Obrázek 5.3 Analýza síly referenčního signálu RSRP, stávající síť



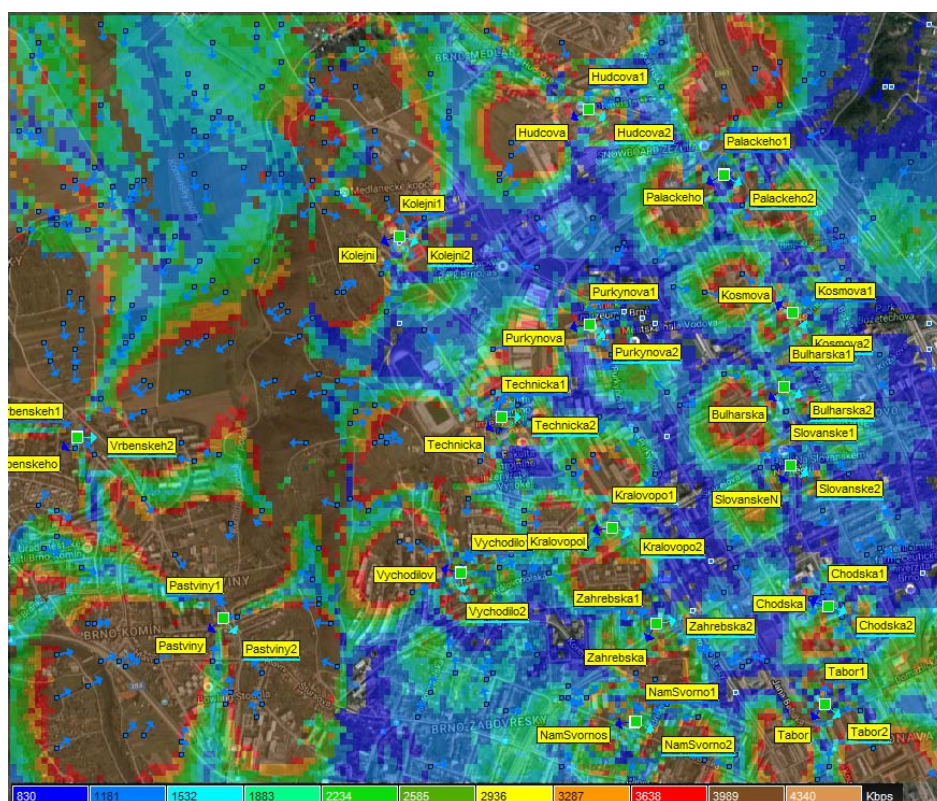
Obrázek 5.4 $\text{SINR} \geq -5 \text{ db}$, navržená síť



Obrázek 5.5 $\text{SINR} \geq -5 \text{ db}$, stávající síť



Obrázek 5.6 Propustnost, navržená síť



Obrázek 5.7 Propustnost, stávající síť

ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem rádiové části sítě LTE. Samotná práce je zaměřena na popis zpracování signálu v systému LTE a seznámení se s programem ICS Designer.

Se znalostmi získanými při zevrubnějším studiu systému LTE jsem vytvořil blokové schéma zpracování signálu v downlinku a následně jsem schéma blok po bloku popsal. V další části jsou vysvětleny rozdíly mezi downlinkem a uplinkem. Následně jsou popsány nejrozšířenější a nejvhodnější modely pro šíření signálu v městském prostředí. Poslední část mapuje seznámení s programem ICS Designer. Jsou zde ukázky funkcí programu a důležité simulace, které jsou nezbytné pro dobré navrhnutí LTE sítě.

Cílem této diplomové práce bylo tedy navrhnout rádiovou část sítě LTE na konkrétní území (VUT campus, část Kr. pole). A za pomoci programu provést simulace pokrytí signálem.

Pro zadanou část území jsem navrhnul mobilní síť LTE. Bohužel jsem nezískal parametry eNB, které se používají, tak jsem byl donucen použít parametry z tutoriálu, který je součástí programu ICS Designer. Což má za následek, že se simulace mohou od skutečných parametrů značně lišit. Navrhnutou síť jsem podrobil několika simulacím, abych zjistil, zda by navrhnutá síť obstála v běžném provozu. Z výsledků simulací jsem usoudil, že by takto navrhnutá síť mohla fungovat. Navrhnutá síť splňovala všechny požadavky ČTÚ pro 100% pokrytí signálu. Pouze rychlost sítě nebyla dostatečná (4Mbps). To může být způsobeno špatným nastavením parametrů eNB. Dále jsem provedl některé výpočty a jejich porovnání se simulacemi. Výpočet ztrát šíření pomocí modelu šíření Okumura Hata byl téměř shodný se simulací. Výpočet přijímaného výkonu byl značně rozdílný. Chyba byla způsobena tím, že program ICS Designer používá složitější matematické výpočty pro přijímaný výkon, než je výpočet z radiotelekomunikační rovnice.

V poslední řadě jsem provedl, nad rámec zadání, simulaci stávající mobilní sítě společnosti T-Mobile. Bohužel se nepodařilo sehnat její parametry eNB, tudíž jsem byl nucen opět použít parametry z tutoriálu. Měl jsem k dispozici pouze mapu rozmístění stanic získanou z programu ROMES. Tuto stávající síť jsem porovnal s mnou navrhnutou sítí, která se ve výsledku jevila jako o poznání lepší. Dosáhnul jsem lepšího pokrytí a větší rychlosti sítě. Lepších výsledků bylo dosaženo tím, že jsem mohl umístit eNB přesně tam, kde jsem potřeboval a nemusel jsem řešit s majiteli budov a s odborem životního prostředí, zdali jim vyhovuje umístění eNB.

Literatura

- [1] Ayman Elnashar, Mohammed A. El-saidny, Mahmoud Sherif: *Design, Deployment and Performance of 4G LTE Networks*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd 2014. ISBN: 978-1-118-68321-7. BALANIS, C.A. *Antenna theory: analysis and design*. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005, xvii, 1117 s. ISBN 978-0-471-66782-7.
- [2] SESIA, Stefania, Issam TOUFIK a Matthew BAKER. *LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, 2009. ISBN 978-0-470-69716-0.
- [3] PROKOPEC, Jan. *Systémy mobilních komunikací: Sítě pro mobilní datové služby*. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. ISBN 978-80-214-4498-0.
- [4] RUMNEY, Moray. *3gpp lte introducing single-carrier fdma* [online]. In: . USA, 2008, s. 10 [cit. 2016-12-12]. DOI: 5989-7898EN. Dostupné z: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7898EN.pdf>
- [5] SHABBIR, Noman, Muhammad T. SADIQ, Hasnain KASHIF a Rizwan ULLAH. *Comparison of radio propagation models for long term evolution (lte) network* [online]. Vol.3. International Journal of Next-Generation Networks, 2011 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://airccse.org/journal/ijngn/papers/3311ijngn03.pdf>
- [6] Tutorial LTE network desing with ICS Designer. ATDI, 2012.
- [7] ICS Designer getting started. ATDI, 2012.
- [8] ITU-R, *A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial service in the VHF and UHF bands*. 07/2015.

Seznam symbolů, veličin a zkratk

BCH	Broadcast Chanel
CP	Cycling Prefix
CRC	Cycling Redundancy Check
ČTÚ	Český telekomunikační ústav
DFT	Diskrétní Fourierovi Transformace
DL-SCH	Downlink Shared Chanel
eNB	Evolved NodeB
eNodeB	Evolved NodeB
EPDCCH	Enhanced Physical Downlink Control Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
GI	Guard Interval
ICI	Inter Carrier Interference
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ISI	Inter Symbol Interference
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MBSFN	Multicast broadcast single frequency network
MCH	Multicast Chanel
OFDM	Orthogonally Frequency Division Multiplexing
PBCH	Physical Broadcast Chanel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Chanel
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDSCH	Physical Downlink Shared Chanel
PHICH	Physical Hybrid-ARQ Indicator Chanel
PCH	Paging Chanel
PMCH	Physical Multicast Chanel
PN	Pseudorandom noise
PRACH	Physical Random Access Chanel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPP	Quadratic Permutation Polynomial

QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RACH	Randon Access Chanel
RB	Resource Block
RE	Resource Element
RG	Resource Grid
RRU	Radio Resource Unit
RSRP	Resource Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal received Quality
SINR	Signal-to-Interference plus Noise Ratio
SRS	Sounding Reference Signal
TDD	Time Division Duplex
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UL-SCH	Uplink Shared Chanel
ZC	Zadoff-Chu

A EXPORTOVANÉ TABULKY Z PROGRAMU ICS DESIGNER

A.1 Neighbour list

Station	#	Neighbour 1	Callsign	Neighbour 2	Callsign
Pastviny	1	2	Pastviny1	3	Pastviny2
Pastviny1	2	1	Pastviny	3	Pastviny2
Pastviny2	3	1	Pastviny	2	Pastviny1
Vychodilov	4	5	Vychodilo1	6	Vychodilo2
Vychodilo1	5	4	Vychodilov	6	Vychodilo2
Vychodilo2	6	4	Vychodilov	5	Vychodilo1
Technicka	7	8	Technicka1	9	Technicka2
Technicka1	8	7	Technicka	9	Technicka2
Technicka2	9	7	Technicka	8	Technicka1
Kolejni	10	11	Kolejni1	12	Kolejni2
Kolejni1	11	10	Kolejni	12	Kolejni2
Kolejni2	12	10	Kolejni	11	Kolejni1
Purkynova	13	14	Purkynova1	15	Purkynova2
Purkynova1	14	13	Purkynova	15	Purkynova2
Purkynova2	15	13	Purkynova	14	Purkynova1
Hudcova	16	17	Hudcova1	18	Hudcova2
Hudcova1	17	16	Hudcova	18	Hudcova2
Hudcova2	18	16	Hudcova	17	Hudcova1
Palackeho	19	20	Palackeho1	21	Palackeho2
Palackeho1	20	19	Palackeho	21	Palackeho2
Palackeho2	21	19	Palackeho	20	Palackeho1
Kosmova	22	23	Kosmova1	24	Kosmova2
Kosmova1	23	22	Kosmova	24	Kosmova2
Kosmova2	24	22	Kosmova	23	Kosmova1
Bulharska	25	26	Bulharska1	27	Bulharska2
Bulharska1	26	25	Bulharska	27	Bulharska2
Bulharska2	27	25	Bulharska	26	Bulharska1
Kralovopol	28	29	Kralovopo1	30	Kralovopo2
Kralovopo1	29	28	Kralovopol	30	Kralovopo2
Kralovopo2	30	28	Kralovopol	29	Kralovopo1
SlovanskeN	31	32	Slovanske1	33	Slovanske2
Slovanske1	32	31	SlovanskeN	33	Slovanske2
Slovanske2	33	31	SlovanskeN	32	Slovanske1
Zahrebska	34	35	Zahrebska1	36	Zahrebska2
Zahrebska1	35	34	Zahrebska	36	Zahrebska2

Zahrebska2	36	34	Zahrebska	35	Zahrebska1
Chodska	37	38	Chodska1	39	Chodska2
Chodska1	38	37	Chodska	39	Chodska2
Chodska2	39	37	Chodska	38	Chodska1
Tabor	40	41	Tabor1	42	Tabor2
Tabor1	41	40	Tabor	42	Tabor2
Tabor2	42	40	Tabor	41	Tabor1
NamSvornos	43	44	NamSvorno1	45	NamSvorno2
NamSvorno1	44	43	NamSvornos	45	NamSvorno2
NamSvorno2	45	43	NamSvornos	44	NamSvorno1
Vrbenskeho	46	47	Vrbenskeh1	48	Vrbenskeh2
Vrbenskeh1	47	46	Vrbenskeho	48	Vrbenskeh2
Vrbenskeh2	48	46	Vrbenskeho	47	Vrbenskeh1

A.2 PCI list

Station	Callsign	PHY CELL ID
1	Pastviny	0
1	Pastviny1	1
1	Pastviny2	2
1	Vychodilov	3
1	Vychodilo1	4
1	Vychodilo2	5
1	Technicka	6
1	Technicka1	7
1	Technicka2	8
1	Kolejni	9
1	Kolejni1	10
1	Kolejni2	11
1	Purkynova	12
1	Purkynova1	13
1	Purkynova2	14
1	Hudcova	15
1	Hudcova1	16
1	Hudcova2	17
1	Palackeho	18
1	Palackeho1	19
1	Palackeho2	20
1	Kosmova	21
1	Kosmova1	22
1	Kosmova2	23
1	Bulharska	24

1	Bulharska1	25
1	Bulharska2	26
1	Kralovopol	27
1	Kralovopo1	28
1	Kralovopo2	29
1	SlovanskeN	30
1	Slovanske1	31
1	Slovanske2	32
1	Zahrebska	33
1	Zahrebska1	34
1	Zahrebska2	35
1	Chodska	36
1	Chodska1	37
1	Chodska2	38
1	Tabor	39
1	Tabor1	40
1	Tabor2	41
1	NamSvornos	42
1	NamSvorno1	43
1	NamSvorno2	44
1	Vrbenskeho	45
1	Vrbenskeh1	46
1	Vrbenskeh2	47

A.3 RSI list

Station	Callsign	Root Sequence Index
1	Pastviny	0.1.2.3.
2	Pastviny1	4.5.6.7.
3	Pastviny2	8.9.10.11.
4	Vychodilov	12.13.14.15.
5	Vychodilo1	16.17.18.19.
6	Vychodilo2	20.21.22.23.
7	Technicka	24.25.26.27.
8	Technicka1	28.29.30.31.
9	Technicka2	32.33.34.35.
10	Kolejni	36.37.38.39.
11	Kolejni1	40.41.42.43.
12	Kolejni2	44.45.46.47.
13	Purkynova	48.49.50.51.
14	Purkynova1	52.53.54.55.
15	Purkynova2	56.57.58.59.

16	Hudcova	60.61.62.63.
17	Hudcova1	64.65.66.67.
18	Hudcova2	68.69.70.71.
19	Palackeho	72.73.74.75.
20	Palackeho1	76.77.78.79.
21	Palackeho2	80.81.82.83.
22	Kosmova	84.85.86.87.
23	Kosmova1	88.89.90.91.
24	Kosmova2	92.93.94.95.
25	Bulharska	96.97.98.99.
26	Bulharska1	100.101.102.103.
27	Bulharska2	104.105.106.107.
28	Kralovopol	108.109.110.111.
29	Kralovopo1	112.113.114.115.
30	Kralovopo2	116.117.118.119.
31	SlovanskeN	120.121.122.123.
32	Slovanske1	124.125.126.127.
33	Slovanske2	128.129.130.131.
34	Zahrebska	132.133.134.135.
35	Zahrebska1	136.137.138.139.
36	Zahrebska2	140.141.142.143.
37	Chodska	144.145.146.147.
38	Chodska1	148.149.150.151.
39	Chodska2	152.153.154.155.
40	Tabor	156.157.158.159.
41	Tabor1	160.161.162.163.
42	Tabor2	164.165.166.167.
43	NamSvornos	168.169.170.171.
44	NamSvorno1	172.173.174.175.
45	NamSvorno2	176.177.178.179.
46	Vrbenskeho	180.181.182.183.
47	Vrbenskeh1	184.185.186.187.
48	Vrbenskeh2	188.189.190.191.
Number of root sequences per sector: 4		
PRACH configuration index: 0		
Random access radius (km): 5.4000		

A.4 Parenting list

Subscriber	BST #	callsign	power received dBm	distance m	margin (no rain) dB	reliability pc	Threshold dBm
adr598	17	Hudcova1	-34.4	446.28	90.91	99.999989	-125.28
adr599	17	Hudcova1	-33.8	446.36	91.46	99.999989	-125.28
adr600	47	Vrbenskeh1	-52.2	1701.69	73.08	99.999989	-125.28
adr601	47	Vrbenskeh1	-54.7	1730.79	70.58	99.999989	-125.28
adr602	47	Vrbenskeh1	-55.4	1746.45	69.85	99.999989	-125.28
adr603	17	Hudcova1	-29.6	359.40	95.65	99.999989	-125.28
adr604	47	Vrbenskeh1	-53.2	1640.51	72.11	99.999989	-125.28
adr605	16	Hudcova	-71.5	982.38	53.76	99.999989	-125.28
adr606	20	Palackeho1	-34.9	577.60	90.36	99.999989	-125.28
adr607	20	Palackeho1	-32.0	506.97	93.27	99.999989	-125.28
adr608	47	Vrbenskeh1	-50.2	1535.05	75.09	99.999989	-125.28
adr609	47	Vrbenskeh1	-54.1	1583.12	71.15	99.999989	-125.28
adr610	11	Kolejni1	-35.7	634.64	89.62	99.999989	-125.28
adr611	20	Palackeho1	-31.1	476.39	94.16	99.999989	-125.28
adr612	11	Kolejni1	-34.7	581.49	90.60	99.999989	-125.28
adr613	47	Vrbenskeh1	-51.0	1460.57	74.31	99.999989	-125.28
adr614	11	Kolejni1	-55.3	626.64	69.94	99.999989	-125.28
adr615	17	Hudcova1	-26.0	93.90	99.29	99.999989	-125.28
adr617	47	Vrbenskeh1	-50.8	1418.02	74.45	99.999989	-125.28
adr618	16	Hudcova	-48.7	1050.54	76.60	99.999989	-125.28
adr619	18	Hudcova2	-28.4	131.75	96.87	99.999989	-125.28
adr620	47	Vrbenskeh1	-48.4	1389.53	76.83	99.999989	-125.28
adr621	47	Vrbenskeh1	-51.3	1407.38	73.97	99.999989	-125.28
adr622	20	Palackeho1	-32.0	396.03	93.29	99.999989	-125.28
adr624	16	Hudcova	-75.8	1100.43	49.50	99.999989	-125.28
adr625	16	Hudcova	-32.2	450.99	93.09	99.999989	-125.28
adr626	47	Vrbenskeh1	-76.0	1391.53	49.29	99.999989	-125.28
adr627	47	Vrbenskeh1	-62.4	1364.32	62.91	99.999989	-125.28
adr628	18	Hudcova2	-31.1	355.73	94.16	99.999989	-125.28
adr629	20	Palackeho1	-38.6	485.80	86.73	99.999989	-125.28
adr630	47	Vrbenskeh1	-77.2	1367.76	48.06	99.999989	-125.28
adr631	11	Kolejni1	-31.3	414.09	93.95	99.999989	-125.28
adr632	16	Hudcova	-33.2	510.08	92.09	99.999989	-125.28
adr633	10	Kolejni	-78.0	1541.15	47.32	99.999989	-125.28
adr634	47	Vrbenskeh1	-46.9	1274.83	78.36	99.999989	-125.28
adr635	47	Vrbenskeh1	-51.1	1305.05	74.20	99.999989	-125.28
adr636	47	Vrbenskeh1	-73.5	1376.19	51.76	99.999989	-125.28
adr637	16	Hudcova	-79.2	1132.21	46.06	99.999989	-125.28

adr638	11	Kolejni1	-33.4	393.70	91.86	99.999989	-125.28
adr640	47	Vrbenskeh1	-49.6	1261.28	75.63	99.999989	-125.28
adr641	47	Vrbenskeh1	-50.4	1274.05	74.90	99.999989	-125.28
adr642	11	Kolejni1	-34.9	397.76	90.39	99.999989	-125.28
adr643	16	Hudcova	-31.3	474.59	93.94	99.999989	-125.28
adr644	23	Kosmova1	-64.1	919.92	61.16	99.999989	-125.28
adr645	47	Vrbenskeh1	-77.6	1250.08	47.67	99.999989	-125.28
adr646	47	Vrbenskeh1	-66.1	1231.19	59.18	99.999989	-125.28
adr647	20	Palackeho1	-34.6	170.79	90.67	99.999989	-125.28
adr648	10	Kolejni	-75.4	1501.37	49.86	99.999989	-125.28
adr649	47	Vrbenskeh1	-56.6	1331.50	68.69	99.999989	-125.28
adr650	11	Kolejni1	-24.0	277.03	101.25	99.999989	-125.28
adr651	11	Kolejni1	-25.1	277.38	100.18	99.999989	-125.28
adr652	18	Hudcova2	-32.9	517.29	92.38	99.999989	-125.28
adr653	47	Vrbenskeh1	-57.2	1321.74	68.12	99.999989	-125.28
adr654	11	Kolejni1	-24.9	256.30	100.43	99.999989	-125.28
adr655	18	Hudcova2	-30.4	417.84	94.87	99.999989	-125.28
adr656	20	Palackeho1	-25.0	104.49	100.26	99.999989	-125.28
adr657	23	Kosmova1	-41.8	960.47	83.49	99.999989	-125.28
adr658	16	Hudcova	-27.8	372.15	97.50	99.999989	-125.28
adr659	23	Kosmova1	-37.3	610.78	87.93	99.999989	-125.28
adr660	47	Vrbenskeh1	-55.9	1253.62	69.36	99.999989	-125.28
adr661	16	Hudcova	-32.9	527.48	92.41	99.999989	-125.28
adr663	11	Kolejni1	-20.4	176.17	104.90	99.999989	-125.28
adr664	11	Kolejni1	-31.3	217.18	94.01	99.999989	-125.28
adr665	18	Hudcova2	-36.3	717.45	89.02	99.999989	-125.28
adr666	23	Kosmova1	-40.5	915.51	84.79	99.999989	-125.28
adr667	16	Hudcova	-33.8	555.17	91.44	99.999989	-125.28
adr668	47	Vrbenskeh1	-46.8	1061.46	78.51	99.999989	-125.28
adr669	16	Hudcova	-31.5	445.58	93.79	99.999989	-125.28
adr670	10	Kolejni	-72.0	1404.47	53.30	99.999989	-125.28
adr671	47	Vrbenskeh1	-47.4	1051.61	77.90	99.999989	-125.28
adr672	11	Kolejni1	-17.2	125.42	108.04	99.999989	-125.28
adr673	11	Kolejni1	-22.3	105.90	102.94	99.999989	-125.28
adr674	19	Palackeho	-25.5	159.82	99.82	99.999989	-125.28
adr675	10	Kolejni	-71.4	1278.16	53.91	99.999989	-125.28
adr676	11	Kolejni1	-30.7	129.11	94.59	99.999989	-125.28
adr677	19	Palackeho	-33.3	505.83	91.98	99.999989	-125.28
adr678	19	Palackeho	-32.2	126.80	93.09	99.999989	-125.28
adr679	21	Palackeho2	-25.0	161.77	100.30	99.999989	-125.28
adr680	47	Vrbenskeh1	-68.9	958.24	56.37	99.999989	-125.28
adr681	47	Vrbenskeh1	-43.7	937.45	81.56	99.999989	-125.28
adr682	19	Palackeho	-28.7	136.15	96.57	99.999989	-125.28

adr683	10	Kolejni	-69.9	1250.79	55.34	99.999989	-125.28
adr684	47	Vrbenskeh1	-42.2	900.70	83.09	99.999989	-125.28
adr685	47	Vrbenskeh1	-48.7	995.31	76.59	99.999989	-125.28
adr686	47	Vrbenskeh1	-61.2	884.00	64.04	99.999989	-125.28
adr687	23	Kosmova1	-38.4	840.77	86.91	99.999989	-125.28
adr688	47	Vrbenskeh1	-65.6	910.02	59.69	99.999989	-125.28
adr689	10	Kolejni	-15.2	158.59	110.04	99.999989	-125.28
adr690	19	Palackeho	-23.1	224.06	102.16	99.999989	-125.28
adr691	47	Vrbenskeh1	-40.5	838.58	84.76	99.999989	-125.28
adr692	21	Palackeho2	-31.4	439.08	93.92	99.999989	-125.28
adr693	23	Kosmova1	-35.4	662.01	89.88	99.999989	-125.28
adr694	47	Vrbenskeh1	-40.2	800.31	85.10	99.999989	-125.28
adr695	47	Vrbenskeh1	-42.7	831.42	82.57	99.999989	-125.28
adr696	12	Kolejni2	-33.0	228.35	92.29	99.999989	-125.28
adr697	47	Vrbenskeh1	-70.9	950.38	54.42	99.999989	-125.28
adr698	47	Vrbenskeh1	-39.9	775.75	85.38	99.999989	-125.28
adr699	47	Vrbenskeh1	-40.3	798.83	84.98	99.999989	-125.28
adr700	47	Vrbenskeh1	-38.9	756.74	86.40	99.999989	-125.28
adr701	47	Vrbenskeh1	-39.4	750.75	85.88	99.999989	-125.28
adr702	47	Vrbenskeh1	-42.8	785.13	82.48	99.999989	-125.28
adr703	8	Technicka1	-37.7	551.25	87.54	99.999989	-125.28
adr704	8	Technicka1	-34.4	494.27	90.85	99.999989	-125.28
adr705	22	Kosmova	-24.6	248.78	100.72	99.999989	-125.28
adr707	47	Vrbenskeh1	-42.1	739.29	83.14	99.999989	-125.28
adr708	21	Palackeho2	-33.2	497.35	92.08	99.999989	-125.28
adr709	47	Vrbenskeh1	-37.8	696.43	87.53	99.999989	-125.28
adr710	47	Vrbenskeh1	-39.2	673.70	86.08	99.999989	-125.28
adr711	13	Purkynova	-26.7	138.93	98.58	99.999989	-125.28
adr712	21	Palackeho2	-33.7	500.98	91.62	99.999989	-125.28
adr713	47	Vrbenskeh1	-37.1	673.17	88.18	99.999989	-125.28
adr714	13	Purkynova	-29.6	377.58	95.63	99.999989	-125.28
adr715	47	Vrbenskeh1	-41.1	781.03	84.20	99.999989	-125.28
adr716	47	Vrbenskeh1	-40.0	735.29	85.31	99.999989	-125.28
adr717	47	Vrbenskeh1	-35.7	601.01	89.57	99.999989	-125.28
adr718	8	Technicka1	-29.6	311.48	95.70	99.999989	-125.28
adr719	22	Kosmova	-27.4	159.97	97.91	99.999989	-125.28
adr720	23	Kosmova1	-24.7	138.69	100.55	99.999989	-125.28
adr721	47	Vrbenskeh1	-36.7	648.58	88.58	99.999989	-125.28
adr722	8	Technicka1	-30.8	341.13	94.51	99.999989	-125.28
adr723	13	Purkynova	-28.9	228.68	96.36	99.999989	-125.28
adr725	47	Vrbenskeh1	-35.2	555.81	90.11	99.999989	-125.28
adr726	8	Technicka1	-29.6	293.22	95.72	99.999989	-125.28
adr727	47	Vrbenskeh1	-35.5	604.73	89.81	99.999989	-125.28

adr728	13	Purkynova	-31.1	481.60	94.18	99.999989	-125.28
adr729	22	Kosmova	-27.3	276.95	98.00	99.999989	-125.28
adr731	26	Bulharska1	-28.4	327.66	96.87	99.999989	-125.28
adr732	47	Vrbenskeh1	-34.1	468.09	91.17	99.999989	-125.28
adr733	47	Vrbenskeh1	-36.5	493.57	88.76	99.999989	-125.28
adr734	7	Technicka	-37.0	358.16	88.25	99.999989	-125.28
adr735	8	Technicka1	-36.1	335.72	89.20	99.999989	-125.28
adr736	13	Purkynova	-29.2	404.62	96.04	99.999989	-125.28
adr738	9	Technicka2	-33.8	565.92	91.45	99.999989	-125.28
adr739	24	Kosmova2	-33.1	469.63	92.22	99.999989	-125.28
adr740	47	Vrbenskeh1	-31.3	472.02	93.96	99.999989	-125.28
adr741	47	Vrbenskeh1	-30.8	402.08	94.46	99.999989	-125.28
adr742	48	Vrbenskeh2	-41.1	548.83	84.14	99.999989	-125.28
adr743	7	Technicka	-35.0	364.18	90.24	99.999989	-125.28
adr744	7	Technicka	-32.5	269.88	92.80	99.999989	-125.28
adr745	13	Purkynova	-28.7	284.06	96.57	99.999989	-125.28
adr746	47	Vrbenskeh1	-36.4	566.88	88.89	99.999989	-125.28
adr747	47	Vrbenskeh1	-29.1	414.42	96.20	99.999989	-125.28
adr748	7	Technicka	-33.8	358.16	91.53	99.999989	-125.28
adr749	9	Technicka2	-27.2	150.23	98.04	99.999989	-125.28
adr751	24	Kosmova2	-34.5	587.66	90.79	99.999989	-125.28
adr752	47	Vrbenskeh1	-29.7	410.44	95.56	99.999989	-125.28
adr753	24	Kosmova2	-32.6	483.41	92.66	99.999989	-125.28
adr754	24	Kosmova2	-34.1	573.57	91.20	99.999989	-125.28
adr755	47	Vrbenskeh1	-38.6	583.32	86.71	99.999989	-125.28
adr756	47	Vrbenskeh1	-27.1	348.09	98.23	99.999989	-125.28
adr757	47	Vrbenskeh1	-32.0	318.08	93.29	99.999989	-125.28
adr758	15	Purkynova2	-28.5	301.33	96.80	99.999989	-125.28
adr759	24	Kosmova2	-31.6	281.73	93.66	99.999989	-125.28
adr760	24	Kosmova2	-31.8	293.92	93.46	99.999989	-125.28
adr761	7	Technicka	-26.8	304.47	98.46	99.999989	-125.28
adr762	9	Technicka2	-34.3	185.39	91.02	99.999989	-125.28
adr763	15	Purkynova2	-29.3	382.52	95.95	99.999989	-125.28
adr764	15	Purkynova2	-30.4	418.03	94.85	99.999989	-125.28
adr765	47	Vrbenskeh1	-25.5	238.85	99.79	99.999989	-125.28
adr766	7	Technicka	-31.6	407.01	93.71	99.999989	-125.28
adr767	13	Purkynova	-36.1	480.85	89.21	99.999989	-125.28
adr768	47	Vrbenskeh1	-37.5	226.22	87.74	99.999989	-125.28
adr769	7	Technicka	-27.5	340.14	97.75	99.999989	-125.28
adr770	25	Bulharska	-31.0	183.49	94.29	99.999989	-125.28
adr771	26	Bulharska1	-29.7	77.33	95.58	99.999989	-125.28
adr772	24	Kosmova2	-33.9	365.62	91.41	99.999989	-125.28
adr773	47	Vrbenskeh1	-36.4	177.60	88.89	99.999989	-125.28

adr774	48	Vrbenskeh2	-42.7	233.33	82.63	99.999989	-125.28
adr775	48	Vrbenskeh2	-45.5	674.20	79.75	99.999989	-125.28
adr776	7	Technicka	-30.6	395.28	94.70	99.999989	-125.28
adr777	47	Vrbenskeh1	-41.2	546.17	84.06	99.999989	-125.28
adr778	32	Slovanske1	-28.8	349.20	96.47	99.999989	-125.28
adr779	2	Pastviny1	-61.9	760.37	63.35	99.999989	-125.28
adr780	7	Technicka	-24.6	202.30	100.65	99.999989	-125.28
adr781	29	Kralovopo1	-32.7	527.77	92.60	99.999989	-125.28
adr782	48	Vrbenskeh2	-28.9	383.33	96.34	99.999989	-125.28
adr783	7	Technicka	-33.2	237.88	92.05	99.999989	-125.28
adr784	48	Vrbenskeh2	-45.9	653.38	79.37	99.999989	-125.28
adr785	9	Technicka2	-34.0	411.82	91.24	99.999989	-125.28
adr787	46	Vrbenskeho	-30.7	326.47	94.58	99.999989	-125.28
adr788	25	Bulharska	-32.0	148.50	93.30	99.999989	-125.28
adr790	48	Vrbenskeh2	-30.8	253.86	94.49	99.999989	-125.28
adr791	48	Vrbenskeh2	-48.7	752.33	76.60	99.999989	-125.28
adr792	25	Bulharska	-28.5	391.61	96.79	99.999989	-125.28
adr793	46	Vrbenskeho	-26.1	76.93	99.15	99.999989	-125.28
adr794	48	Vrbenskeh2	-29.1	117.24	96.18	99.999989	-125.28
adr795	27	Bulharska2	-31.2	238.19	94.12	99.999989	-125.28
adr796	29	Kralovopo1	-29.2	381.10	96.03	99.999989	-125.28
adr797	48	Vrbenskeh2	-40.2	510.82	85.06	99.999989	-125.28
adr798	29	Kralovopo1	-27.7	325.98	97.58	99.999989	-125.28
adr799	46	Vrbenskeho	-26.2	335.81	99.09	99.999989	-125.28
adr801	46	Vrbenskeho	-28.5	391.65	96.77	99.999989	-125.28
adr802	25	Bulharska	-30.5	334.50	94.82	99.999989	-125.28
adr803	38	Chodska1	-35.1	553.24	90.22	99.999989	-125.28
adr804	29	Kralovopo1	-22.2	226.10	103.05	99.999989	-125.28
adr805	2	Pastviny1	-31.0	459.87	94.31	99.999989	-125.28
adr806	48	Vrbenskeh2	-33.4	525.66	91.87	99.999989	-125.28
adr807	33	Slovanske2	-32.4	409.49	92.84	99.999989	-125.28
adr808	48	Vrbenskeh2	-38.1	682.83	87.13	99.999989	-125.28
adr809	4	Vychodilov	-27.4	180.63	97.90	99.999989	-125.28
adr810	28	Kralovopol	-27.7	270.85	97.58	99.999989	-125.28
adr811	38	Chodska1	-30.2	335.97	95.13	99.999989	-125.28
adr812	33	Slovanske2	-35.8	610.70	89.48	99.999989	-125.28
adr814	38	Chodska1	-31.0	302.44	94.29	99.999989	-125.28
adr815	33	Slovanske2	-34.6	566.36	90.65	99.999989	-125.28
adr816	5	Vychodilo1	-46.4	102.68	78.85	99.999989	-125.28
adr817	5	Vychodilo1	-33.4	143.67	91.85	99.999989	-125.28
adr818	5	Vychodilo1	-28.9	340.19	96.36	99.999989	-125.28
adr819	28	Kralovopol	-28.9	364.42	96.43	99.999989	-125.28
adr820	1	Pastviny	-49.4	854.52	75.91	99.999989	-125.28

adr821	2	Pastviny1	-30.8	347.41	94.52	99.999989	-125.28
adr822	48	Vrbenskeh2	-37.3	673.37	87.99	99.999989	-125.28
adr823	1	Pastviny	-48.2	822.60	77.11	99.999989	-125.28
adr824	33	Slovanske2	-28.8	383.24	96.49	99.999989	-125.28
adr825	2	Pastviny1	-41.7	582.13	83.55	99.999989	-125.28
adr826	31	SlovanskeN	-26.1	227.91	99.22	99.999989	-125.28
adr827	48	Vrbenskeh2	-43.2	853.35	82.12	99.999989	-125.28
adr828	35	Zahrebska1	-31.3	478.01	94.03	99.999989	-125.28
adr829	30	Kralovopo2	-29.2	377.58	96.04	99.999989	-125.28
adr830	31	SlovanskeN	-25.4	303.05	99.88	99.999989	-125.28
adr831	30	Kralovopo2	-29.6	281.86	95.66	99.999989	-125.28
adr832	35	Zahrebska1	-29.0	407.58	96.31	99.999989	-125.28
adr833	35	Zahrebska1	-33.7	515.56	91.56	99.999989	-125.28
adr834	46	Vrbenskeho	-36.4	617.68	88.90	99.999989	-125.28
adr835	33	Slovanske2	-36.0	709.20	89.24	99.999989	-125.28
adr836	35	Zahrebska1	-34.7	516.34	90.62	99.999989	-125.28
adr837	35	Zahrebska1	-31.1	203.68	94.22	99.999989	-125.28
adr838	6	Vychodilo2	-31.9	307.95	93.36	99.999989	-125.28
adr839	37	Chodska	-27.8	226.90	97.48	99.999989	-125.28
adr840	36	Zahrebska2	-28.5	303.91	96.76	99.999989	-125.28
adr841	6	Vychodilo2	-34.8	323.63	90.48	99.999989	-125.28
adr842	6	Vychodilo2	-32.0	432.50	93.29	99.999989	-125.28
adr843	1	Pastviny	-36.9	605.53	88.41	99.999989	-125.28
adr844	6	Vychodilo2	-36.0	306.54	89.23	99.999989	-125.28
adr845	1	Pastviny	-32.8	108.32	92.46	99.999989	-125.28
adr846	36	Zahrebska2	-29.3	352.77	95.98	99.999989	-125.28
adr847	6	Vychodilo2	-34.5	374.91	90.80	99.999989	-125.28
adr848	44	NamSvorno1	-31.1	461.05	94.16	99.999989	-125.28
adr849	36	Zahrebska2	-30.4	37.76	94.90	99.999989	-125.28
adr850	36	Zahrebska2	-26.3	251.71	99.02	99.999989	-125.28
adr851	36	Zahrebska2	-29.3	351.78	96.02	99.999989	-125.28
adr852	43	NamSvornos	-36.0	583.13	89.30	99.999989	-125.28
adr853	41	Tabor1	-28.8	349.44	96.44	99.999989	-125.28
adr854	41	Tabor1	-27.1	327.37	98.15	99.999989	-125.28
adr855	34	Zahrebska	-28.1	93.90	97.16	99.999989	-125.28
adr856	1	Pastviny	-30.0	338.75	95.27	99.999989	-125.28
adr857	43	NamSvornos	-29.8	375.72	95.50	99.999989	-125.28
adr860	41	Tabor1	-29.1	306.21	96.18	99.999989	-125.28
adr861	43	NamSvornos	-34.6	585.39	90.65	99.999989	-125.28
adr862	43	NamSvornos	-28.0	321.00	97.24	99.999989	-125.28
adr863	44	NamSvorno1	-21.8	250.53	103.52	99.999989	-125.28
adr864	44	NamSvorno1	-22.1	248.02	103.20	99.999989	-125.28
adr865	1	Pastviny	-35.4	683.28	89.86	99.999989	-125.28

adr866	1	Pastviny	-33.7	597.77	91.61	99.999989	-125.28
adr867	1	Pastviny	-30.9	461.38	94.39	99.999989	-125.28
adr868	44	NamSvorno1	-34.8	450.81	90.44	99.999989	-125.28
adr869	43	NamSvornos	-32.0	510.58	93.33	99.999989	-125.28
adr870	34	Zahrebska	-34.3	356.08	90.98	99.999989	-125.28
adr871	1	Pastviny	-32.2	487.17	93.12	99.999989	-125.28
adr872	45	NamSvorno2	-32.5	382.73	92.76	99.999989	-125.28
adr873	43	NamSvornos	-30.3	76.16	94.95	99.999989	-125.28
adr874	34	Zahrebska	-29.7	327.13	95.60	99.999989	-125.28
adr875	43	NamSvornos	-36.8	700.94	88.49	99.999989	-125.28
adr876	43	NamSvornos	-31.5	154.87	93.79	99.999989	-125.28
adr877	39	Chodska2	-36.8	501.42	88.49	99.999989	-125.28
adr878	1	Pastviny	-36.3	746.61	88.99	99.999989	-125.28
adr879	45	NamSvorno2	-26.7	201.59	98.61	99.999989	-125.28
adr880	3	Pastviny2	-36.0	501.54	89.27	99.999989	-125.28
adr881	3	Pastviny2	-34.3	584.42	91.01	99.999989	-125.28
adr882	40	Tabor	-32.5	251.71	92.75	99.999989	-125.28
adr883	3	Pastviny2	-36.4	551.83	88.89	99.999989	-125.28
adr884	3	Pastviny2	-35.4	640.18	89.85	99.999989	-125.28
adr885	40	Tabor	-25.4	127.95	99.92	99.999989	-125.28
adr886	1	Pastviny	-44.4	1035.07	80.84	99.999989	-125.28
adr887	3	Pastviny2	-36.9	638.59	88.35	99.999989	-125.28
adr888	3	Pastviny2	-37.1	730.10	88.22	99.999989	-125.28
adr889	42	Tabor2	-34.1	492.99	91.15	99.999989	-125.28
adr890	1	Pastviny	-44.0	1030.81	81.28	99.999989	-125.28
adr891	1	Pastviny	-39.2	884.93	86.08	99.999989	-125.28
adr892	3	Pastviny2	-37.3	668.30	88.00	99.999989	-125.28
adr893	3	Pastviny2	-37.0	689.08	88.33	99.999989	-125.28
adr894	43	NamSvornos	-33.6	415.59	91.72	99.999989	-125.28
adr895	45	NamSvorno2	-27.9	232.47	97.38	99.999989	-125.28
adr896	40	Tabor	-33.6	170.08	91.64	99.999989	-125.28
adr897	40	Tabor	-37.9	152.46	87.42	99.999989	-125.28

A.5 Conectivity report

Address	Station	Call-sign	RSSI (dBm)	RSRP (dBm)	PUSCH (dBm)	RSRQ (dB)	SNIR PDCCH (dB)	Throughput_RB (kbps)
adr598	17	Hudcova1	-32.5	-59.1	-45.5	-11.9	-10.4	149.9
adr599	17	Hudcova1	-31.8	-58.6	-45.5	-12.0	-10.7	129.1
adr600	47	Vrbenskeh1	-51.0	-77.0	-62.8	-11.2	-8.1	198.0
adr601	47	Vrbenskeh1	-52.9	-79.5	-65.3	-11.8	-10.2	149.9
adr602	47	Vrbenskeh1	-53.4	-80.2	-65.7	-12.0	-10.7	129.1

adr603	17	Hudcova1	-28.8	-54.4	-40.9	-10.8	-6.0	228.5
adr604	47	Vrbenskeh1	-51.6	-77.9	-63.8	-11.6	-9.4	172.8
adr605	16	Hudcova	-70.1	-96.3	-82.1	-11.5	-9.0	172.8
adr606	20	Palackeho1	-31.9	-59.7	-45.5	-13.0	-12.9	93.8
adr607	20	Palackeho1	-30.7	-56.8	-43.6	-11.3	-8.3	198.0
adr608	47	Vrbenskeh1	-49.2	-75.0	-60.8	-11.0	-7.1	228.5
adr609	47	Vrbenskeh1	-52.2	-78.9	-64.8	-12.0	-10.6	129.1
adr610	11	Kolejni1	-33.8	-60.4	-47.0	-11.9	-10.3	149.9
adr611	20	Palackeho1	-29.9	-55.9	-42.6	-11.2	-8.0	198.0
adr612	11	Kolejni1	-33.1	-59.5	-45.7	-11.6	-9.4	172.8
adr613	47	Vrbenskeh1	-49.6	-75.7	-61.6	-11.4	-8.7	172.8
adr614	11	Kolejni1	-51.6	-80.1	-66.0	-13.7	-14.3	78.9
adr615	17	Hudcova1	-25.3	-50.8	-33.3	-10.7	-5.4	228.5
adr616	23	Kosmova1	-41.1	-71.8	-54.8	-15.9	-17.6	0.0
adr617	47	Vrbenskeh1	-49.4	-75.6	-61.4	-11.4	-8.9	172.8
adr618	16	Hudcova	-44.8	-73.5	-58.8	-13.9	-14.6	65.7
adr619	18	Hudcova2	-27.0	-53.2	-37.9	-11.4	-8.7	172.8
adr620	47	Vrbenskeh1	-48.4	-73.2	-59.1	-10.0	6.V	228.5
adr621	47	Vrbenskeh1	-49.7	-76.1	-61.9	-11.6	-9.5	172.8
adr622	20	Palackeho1	-28.5	-56.8	-42.6	-13.5	-14.0	78.9
adr623	23	Kosmova1	-41.0	-71.4	-54.2	-15.6	-17.2	0.0
adr624	16	Hudcova	-70.8	-100.5	-86.4	-14.9	-16.3	54.0
adr625	16	Hudcova	-30.0	-57.0	-42.8	-12.2	-11.2	129.1
adr626	47	Vrbenskeh1	-75.3	-100.8	-86.6	-10.7	-5.6	228.5
adr627	47	Vrbenskeh1	-62.2	-87.1	-73.0	-10.1	1.VIII	228.5
adr628	18	Hudcova2	-27.8	-55.9	-42.6	-13.3	-13.6	78.9
adr629	20	Palackeho1	-33.1	-63.3	-49.9	-15.5	-17.0	43.8
adr630	47	Vrbenskeh1	-76.4	-102.0	-87.8	-10.9	-6.4	228.5
adr631	11	Kolejni1	-30.1	-56.1	-42.1	-11.2	-8.1	198.0
adr632	16	Hudcova	-30.3	-58.0	-43.8	-12.9	-12.8	93.8
adr633	10	Kolejni	-77.0	-102.7	-91.4	-11.0	-7.0	228.5
adr634	47	Vrbenskeh1	-46.9	-71.7	-57.5	-10.0	9.I	228.5
adr635	47	Vrbenskeh1	-49.3	-75.9	-61.7	-11.8	-10.0	149.9
adr636	47	Vrbenskeh1	-72.2	-98.3	-81.1	-11.3	-8.5	198.0
adr637	16	Hudcova	-77.2	-104.0	-89.4	-12.1	-10.9	129.1
adr638	11	Kolejni1	-31.3	-58.2	-44.6	-12.2	-11.1	129.1
adr639	23	Kosmova1	-32.9	-63.3	-51.1	-15.6	-17.2	0.0
adr640	47	Vrbenskeh1	-48.1	-74.4	-60.3	-11.5	-9.2	172.8
adr641	47	Vrbenskeh1	-48.7	-75.2	-61.0	-11.7	-9.7	149.9
adr642	11	Kolejni1	-31.3	-59.7	-46.2	-13.6	-14.0	78.9
adr643	16	Hudcova	-29.2	-56.1	-42.0	-12.1	-11.0	129.1
adr644	23	Kosmova1	-59.6	-88.9	-51.6	-14.6	-15.7	54.0
adr645	47	Vrbenskeh1	-74.9	-102.4	-88.2	-12.7	-12.4	110.5

adr646	47	Vrbenskeh1	-65.9	-90.9	-76.7	-10.2	-0.6	228.5
adr647	20	Palackeho1	-30.8	-59.4	-45.6	-13.8	-14.4	78.9
adr648	10	Kolejni	-74.5	-100.2	-88.9	-10.9	-6.6	228.5
adr649	47	Vrbenskeh1	-55.7	-81.4	-62.9	-10.9	-6.9	228.5
adr650	11	Kolejni1	-23.9	-48.8	-34.6	-10.2	0.8	228.5
adr651	11	Kolejni1	-24.8	-49.9	-35.7	-10.3	-1.1	228.5
adr652	18	Hudcova2	-29.2	-57.7	-44.6	-13.7	-14.4	78.9
adr653	47	Vrbenskeh1	-55.7	-81.9	-63.2	-11.5	-9.2	172.8
adr654	11	Kolejni1	-24.6	-49.6	-35.5	-10.3	-1.6	228.5
adr655	18	Hudcova2	-26.0	-55.2	-41.7	-14.4	-15.4	65.7
adr656	20	Palackeho1	-24.3	-49.8	-33.0	-10.7	-5.7	228.5
adr657	23	Kosmova1	-37.2	-66.6	-52.1	-14.6	-15.8	54.0
adr658	16	Hudcova	-26.1	-52.6	-38.4	-11.6	-9.6	149.9
adr659	23	Kosmova1	-33.0	-62.1	-49.4	-14.3	-15.4	65.7
adr660	47	Vrbenskeh1	-54.9	-80.7	-62.1	-11.0	-7.2	228.5
adr661	16	Hudcova	-29.4	-57.6	-43.5	-13.5	-13.9	78.9
adr662	8	Technicka1	-42.5	-72.9	-58.1	-15.7	-17.3	0.0
adr663	11	Kolejni1	-20.3	-45.2	-31.0	-10.1	3.0	228.5
adr664	11	Kolejni1	-29.4	-56.0	-42.0	-11.8	-10.2	149.9
adr665	18	Hudcova2	-32.0	-61.0	-48.5	-14.3	-15.3	65.7
adr666	23	Kosmova1	-36.0	-65.3	-51.8	-14.5	-15.6	54.0
adr667	16	Hudcova	-29.3	-58.6	-44.5	-14.5	-15.7	54.0
adr668	47	Vrbenskeh1	-45.4	-71.5	-57.5	-11.3	-8.5	198.0
adr669	16	Hudcova	-27.6	-56.3	-42.1	-13.9	-14.6	65.7
adr670	10	Kolejni	-71.8	-96.8	-85.3	-10.2	-0.1	228.5
adr671	47	Vrbenskeh1	-45.9	-72.2	-58.1	-11.5	-9.2	172.8
adr672	11	Kolejni1	-16.7	-42.0	-26.4	-10.6	-4.4	228.5
adr673	11	Kolejni1	-22.1	-47.1	-30.4	-10.2	-0.0	228.5
adr674	19	Palackeho	-24.3	-50.2	-36.1	-11.1	-7.7	198.0
adr675	10	Kolejni	-70.8	-96.1	-84.6	-10.5	-4.3	228.5
adr676	11	Kolejni1	-27.4	-55.5	-40.1	-13.3	-13.6	78.9
adr677	19	Palackeho	-27.9	-58.1	-43.9	-15.4	-16.9	43.8
adr678	19	Palackeho	-28.2	-57.0	-41.4	-14.0	-14.8	65.7
adr679	21	Palackeho2	-23.8	-49.7	-35.6	-11.2	-7.9	198.0
adr680	47	Vrbenskeh1	-66.8	-93.7	-79.5	-12.1	-10.9	129.1
adr681	47	Vrbenskeh1	-42.8	-68.5	-54.5	-10.9	-6.7	228.5
adr682	19	Palackeho	-26.2	-53.5	-38.4	-12.5	-11.9	110.5
adr683	10	Kolejni	-68.1	-94.7	-83.0	-11.9	-10.3	149.9
adr684	47	Vrbenskeh1	-42.1	-67.0	-52.8	-10.1	5.11	228.5
adr685	47	Vrbenskeh1	-46.6	-73.5	-59.3	-12.1	-11.0	129.1
adr686	47	Vrbenskeh1	-60.5	-86.0	-71.9	-10.7	-5.8	228.5
adr687	23	Kosmova1	-33.5	-63.1	-51.2	-14.8	-16.1	54.0
adr688	47	Vrbenskeh1	-63.8	-90.4	-76.2	-11.8	-10.2	149.9

adr689	10	Kolejni	-15.2	-40.0	-25.9	-10.0	7.IX	228.5
adr690	19	Palackeho	-21.7	-47.9	-33.7	-11.4	-8.8	172.8
adr691	47	Vrbenskeh1	-40.1	-65.3	-51.1	-10.4	-2.8	228.5
adr692	21	Palackeho2	-28.3	-56.1	-42.2	-13.0	-13.1	93.8
adr693	23	Kosmova1	-30.6	-60.2	-48.3	-14.8	-16.1	54.0
adr694	47	Vrbenskeh1	-39.7	-65.0	-50.8	-10.5	-4.0	228.5
adr695	47	Vrbenskeh1	-41.7	-67.5	-53.7	-11.0	-7.2	228.5
adr696	12	Kolejni2	-29.1	-57.8	-45.0	-13.9	-14.6	65.7
adr697	47	Vrbenskeh1	-69.8	-95.6	-81.5	-11.1	-7.6	198.0
adr698	47	Vrbenskeh1	-39.4	-64.7	-50.5	-10.5	-4.1	228.5
adr699	47	Vrbenskeh1	-40.0	-65.1	-50.9	-10.3	-2.0	228.5
adr700	47	Vrbenskeh1	-38.5	-63.7	-49.5	-10.4	-2.3	228.5
adr701	47	Vrbenskeh1	-38.9	-64.2	-50.0	-10.5	-3.8	228.5
adr702	47	Vrbenskeh1	-41.4	-67.6	-54.1	-11.4	-8.7	172.8
adr703	8	Technicka1	-34.5	-62.5	-48.3	-13.2	-13.4	93.8
adr704	8	Technicka1	-31.8	-59.2	-45.5	-12.6	-12.2	110.5
adr705	22	Kosmova	-22.8	-49.3	-35.2	-11.7	-9.9	149.9
adr706	23	Kosmova1	-30.6	-61.0	-49.1	-15.7	-17.3	0.0
adr707	47	Vrbenskeh1	-40.7	-66.9	-53.5	-11.4	-8.9	172.8
adr708	21	Palackeho2	-28.5	-58.0	-43.8	-14.6	-15.8	54.0
adr709	47	Vrbenskeh1	-37.5	-62.5	-48.4	-10.3	-0.9	228.5
adr710	47	Vrbenskeh1	-38.4	-64.0	-50.3	-10.8	-5.8	228.5
adr711	13	Purkynova	-24.4	-51.5	-36.5	-12.3	-11.4	129.1
adr712	21	Palackeho2	-28.8	-58.4	-44.3	-14.8	-16.1	54.0
adr713	47	Vrbenskeh1	-36.9	-61.9	-47.7	-10.2	-0.5	228.5
adr714	13	Purkynova	-27.2	-54.4	-41.0	-12.4	-11.8	110.5
adr715	47	Vrbenskeh1	-40.7	-65.9	-51.7	-10.4	-2.9	228.5
adr716	47	Vrbenskeh1	-39.5	-64.7	-50.6	-10.5	-3.4	228.5
adr717	47	Vrbenskeh1	-35.4	-60.5	-46.6	-10.3	-2.1	228.5
adr718	8	Technicka1	-26.5	-54.3	-40.9	-13.0	-13.1	93.8
adr719	22	Kosmova	-24.9	-52.1	-38.0	-12.5	-11.8	110.5
adr720	23	Kosmova1	-22.8	-49.5	-34.6	-12.0	-10.6	129.1
adr721	47	Vrbenskeh1	-36.4	-61.5	-47.3	-10.3	-1.7	228.5
adr722	8	Technicka1	-27.8	-55.5	-41.4	-13.0	-13.0	93.8
adr723	13	Purkynova	-26.8	-53.7	-39.9	-12.1	-11.0	129.1
adr724	24	Kosmova2	-30.9	-62.7	-50.8	-17.0	-19.1	0.0
adr725	47	Vrbenskeh1	-34.8	-59.9	-46.2	-10.4	-2.9	228.5
adr726	8	Technicka1	-27.2	-54.3	-40.4	-12.3	-11.5	110.5
adr727	47	Vrbenskeh1	-35.2	-60.2	-46.1	-10.3	-1.1	228.5
adr728	13	Purkynova	-28.6	-55.9	-41.9	-12.5	-11.9	110.5
adr729	22	Kosmova	-25.2	-52.0	-37.9	-12.1	-10.8	129.1
adr730	8	Technicka1	-32.9	-63.4	-49.2	-15.8	-17.4	0.0
adr731	26	Bulharska1	-26.8	-53.2	-39.4	-11.6	-9.6	149.9

adr732	47	Vrbenskeh1	-33.6	-58.9	-45.3	-10.5	-4.2	228.5
adr733	47	Vrbenskeh1	-35.5	-61.3	-47.9	-11.1	-7.5	228.5
adr734	7	Technicka	-32.1	-61.8	-47.6	-14.9	-16.3	54.0
adr735	8	Technicka1	-31.4	-60.8	-46.7	-14.7	-15.9	54.0
adr736	13	Purkynova	-27.6	-54.0	-39.9	-11.6	-9.5	172.8
adr737	24	Kosmova2	-44.5	-75.4	-50.2	-16.1	-17.9	0.0
adr738	9	Technicka2	-29.3	-58.6	-46.1	-14.6	-15.7	54.0
adr739	24	Kosmova2	-28.8	-57.8	-45.3	-14.3	-15.3	65.7
adr740	47	Vrbenskeh1	-31.2	-56.1	-41.9	-10.1	1.VI	228.5
adr741	47	Vrbenskeh1	-30.6	-55.6	-41.8	-10.2	-0.7	228.5
adr742	48	Vrbenskeh2	-37.8	-65.9	-52.5	-13.3	-13.6	78.9
adr743	7	Technicka	-32.3	-59.8	-45.7	-12.7	-12.4	110.5
adr744	7	Technicka	-29.4	-57.3	-43.1	-13.1	-13.2	93.8
adr745	13	Purkynova	-25.7	-53.5	-39.3	-13.0	-13.1	93.8
adr746	47	Vrbenskeh1	-35.9	-61.2	-47.0	-10.5	-3.9	228.5
adr747	47	Vrbenskeh1	-29.0	-53.9	-39.7	-10.1	2.IX	228.5
adr748	7	Technicka	-31.8	-58.5	-44.4	-12.0	-10.7	129.1
adr749	9	Technicka2	-24.7	-52.0	-37.6	-12.5	-11.9	110.5
adr750	32	Slovanske1	-31.7	-62.6	-50.8	-16.2	-18.0	0.0
adr751	24	Kosmova2	-29.4	-59.3	-47.1	-15.1	-16.4	54.0
adr752	47	Vrbenskeh1	-29.6	-54.5	-40.3	-10.2	1.III	228.5
adr753	24	Kosmova2	-28.3	-57.4	-44.8	-14.3	-15.4	65.7
adr754	24	Kosmova2	-29.1	-58.9	-46.6	-15.0	-16.4	54.0
adr755	47	Vrbenskeh1	-37.9	-63.3	-49.2	-10.7	-5.3	228.5
adr756	47	Vrbenskeh1	-27.0	-51.8	-37.7	-10.1	3.III	228.5
adr757	47	Vrbenskeh1	-31.4	-56.8	-43.1	-10.6	-5.0	228.5
adr758	15	Purkynova2	-25.8	-53.3	-39.3	-12.7	-12.3	110.5
adr759	24	Kosmova2	-28.2	-56.4	-42.8	-13.4	-13.8	78.9
adr760	24	Kosmova2	-28.4	-56.6	-43.1	-13.5	-13.9	78.9
adr761	7	Technicka	-26.5	-51.6	-37.4	-10.3	-1.5	228.5
adr762	9	Technicka2	-30.0	-59.0	-45.3	-14.2	-15.2	65.7
adr763	15	Purkynova2	-26.1	-54.1	-40.7	-13.2	-13.4	93.8
adr764	15	Purkynova2	-26.7	-55.2	-42.1	-13.7	-14.3	78.9
adr765	47	Vrbenskeh1	-25.4	-50.3	-36.1	-10.1	3.IV	228.5
adr766	7	Technicka	-31.0	-56.3	-42.2	-10.5	-4.1	228.5
adr767	13	Purkynova	-31.0	-60.8	-46.7	-15.1	-16.5	54.0
adr768	47	Vrbenskeh1	-35.4	-62.3	-48.5	-12.1	-11.0	129.1
adr769	7	Technicka	-27.2	-52.3	-38.1	-10.3	-1.4	228.5
adr770	25	Bulharska	-26.5	-55.8	-41.6	-14.5	-15.7	54.0
adr771	26	Bulharska1	-26.9	-54.5	-35.7	-12.8	-12.6	93.8
adr772	24	Kosmova2	-28.8	-58.6	-45.0	-15.0	-16.4	54.0
adr773	47	Vrbenskeh1	-35.2	-61.2	-47.1	-11.2	-8.1	198.0
adr774	48	Vrbenskeh2	-39.6	-67.4	-53.7	-13.0	-13.1	93.8

adr775	48	Vrbenskeh2	-42.6	-70.3	-52.3	-12.9	-12.8	93.8
adr776	7	Technicka	-30.2	-55.4	-41.2	-10.4	-3.1	228.5
adr777	47	Vrbenskeh1	-38.3	-66.0	-51.8	-12.9	-12.9	93.8
adr778	32	Slovanske1	-25.9	-53.6	-40.0	-12.9	-12.9	93.8
adr779	2	Pastviny1	-59.4	-86.7	-49.5	-12.5	-12.0	110.5
adr780	7	Technicka	-24.3	-49.4	-35.2	-10.3	-2.1	228.5
adr781	29	Kralovopo1	-27.2	-57.5	-43.3	-15.4	-17.0	43.8
adr782	48	Vrbenskeh2	-28.9	-53.7	-40.3	-10.0	6.VIII	228.5
adr783	7	Technicka	-29.4	-58.0	-43.8	-13.8	-14.5	78.9
adr784	48	Vrbenskeh2	-45.7	-70.7	-52.9	-10.3	-0.9	228.5
adr785	9	Technicka2	-29.3	-58.8	-45.4	-14.7	-15.9	54.0
adr786	38	Chodska1	-30.4	-61.3	-49.4	-16.2	-18.0	0.0
adr787	46	Vrbenskeho	-29.5	-55.5	-41.3	-11.1	-7.8	198.0
adr788	25	Bulharska	-28.1	-56.8	-42.3	-13.9	-14.6	65.7
adr789	38	Chodska1	-29.3	-60.2	-48.0	-16.2	-18.0	0.0
adr790	48	Vrbenskeh2	-29.6	-55.6	-42.0	-11.2	-8.1	198.0
adr791	48	Vrbenskeh2	-47.3	-73.4	-55.6	-11.4	-8.9	172.8
adr792	25	Bulharska	-24.7	-53.3	-39.1	-13.8	-14.4	78.9
adr793	46	Vrbenskeho	-25.9	-50.9	-32.1	-10.3	-1.0	228.5
adr794	48	Vrbenskeh2	-28.2	-53.9	-37.8	-10.9	-6.4	228.5
adr795	27	Bulharska2	-27.7	-55.9	-42.3	-13.4	-13.8	78.9
adr796	29	Kralovopo1	-27.1	-54.0	-39.9	-12.1	-11.1	129.1
adr797	48	Vrbenskeh2	-40.0	-65.0	-47.7	-10.2	-0.2	228.5
adr798	29	Kralovopo1	-24.0	-52.5	-38.3	-13.7	-14.3	78.9
adr799	46	Vrbenskeho	-26.1	-51.0	-36.8	-10.1	2.VIII	228.5
adr800	38	Chodska1	-31.0	-61.7	-49.8	-15.9	-17.6	0.0
adr801	46	Vrbenskeho	-28.4	-53.3	-39.1	-10.1	2.I	228.5
adr802	25	Bulharska	-26.1	-55.2	-41.1	-14.3	-15.4	65.7
adr803	38	Chodska1	-29.7	-59.8	-47.6	-15.3	-16.8	43.8
adr804	29	Kralovopo1	-21.5	-47.0	-32.8	-10.8	-5.9	228.5
adr805	2	Pastviny1	-30.8	-55.7	-41.6	-10.2	1.V	228.5
adr806	48	Vrbenskeh2	-32.3	-58.2	-44.2	-11.1	-7.5	228.5
adr807	33	Slovanske2	-28.0	-57.2	-44.4	-14.4	-15.5	65.7
adr808	48	Vrbenskeh2	-37.5	-62.9	-48.8	-10.7	-5.4	228.5
adr809	4	Vychodilov	-25.3	-52.1	-38.0	-12.1	-10.9	129.1
adr810	28	Kralovopol	-25.2	-52.5	-38.3	-12.5	-12.0	110.5
adr811	38	Chodska1	-26.4	-54.9	-41.7	-13.8	-14.4	78.9
adr812	33	Slovanske2	-31.1	-60.6	-48.5	-14.7	-15.9	54.0
adr813	30	Kralovopo2	-26.8	-57.5	-43.5	-15.9	-17.7	0.0
adr814	38	Chodska1	-27.3	-55.8	-42.3	-13.7	-14.2	78.9
adr815	33	Slovanske2	-30.6	-59.4	-47.1	-14.0	-14.8	65.7
adr816	5	Vychodilo1	-46.2	-71.2	-34.0	-10.2	-0.6	228.5
adr817	5	Vychodilo1	-32.9	-58.2	-43.5	-10.6	-4.5	228.5

adr818	5	Vychodilo1	-26.5	-53.7	-39.5	-12.4	-11.7	110.5
adr819	28	Kralovopol	-26.8	-53.6	-39.5	-12.1	-10.8	129.1
adr820	1	Pastviny	-45.5	-74.1	-60.2	-13.9	-14.6	65.7
adr821	2	Pastviny1	-29.3	-55.5	-41.4	-11.5	-9.1	172.8
adr822	48	Vrbenskeh2	-35.3	-62.1	-48.4	-12.0	-10.6	129.1
adr823	1	Pastviny	-44.6	-72.9	-59.2	-13.6	-14.1	78.9
adr824	33	Slovanske2	-25.7	-53.6	-40.4	-13.1	-13.3	93.8
adr825	2	Pastviny1	-39.5	-66.5	-52.8	-12.2	-11.2	129.1
adr826	31	SlovanskeN	-22.6	-50.8	-36.7	-13.5	-13.9	78.9
adr827	48	Vrbenskeh2	-42.6	-67.9	-52.6	-10.6	-4.3	228.5
adr828	35	Zahrebska1	-27.5	-56.0	-41.9	-13.8	-14.4	78.9
adr829	30	Kralovopo2	-24.5	-54.0	-40.5	-14.8	-16.0	54.0
adr830	31	SlovanskeN	-21.9	-50.2	-36.0	-13.5	-14.0	78.9
adr831	30	Kralovopo2	-24.9	-54.4	-40.7	-14.7	-15.9	54.0
adr832	35	Zahrebska1	-27.2	-53.7	-39.6	-11.8	-10.1	149.9
adr833	35	Zahrebska1	-30.0	-58.5	-44.3	-13.7	-14.3	78.9
adr834	46	Vrbenskeho	-34.3	-61.2	-49.5	-12.1	-11.0	129.1
adr835	33	Slovanske2	-31.7	-60.8	-48.3	-14.3	-15.3	65.7
adr836	35	Zahrebska1	-30.1	-59.4	-45.4	-14.5	-15.6	54.0
adr837	35	Zahrebska1	-27.0	-55.8	-41.8	-14.1	-15.0	65.7
adr838	6	Vychodilo2	-28.7	-56.7	-43.5	-13.2	-13.4	93.8
adr839	37	Chodska	-23.7	-52.6	-38.4	-14.1	-15.0	65.7
adr840	36	Zahrebska2	-23.8	-53.3	-39.2	-14.7	-15.9	54.0
adr841	6	Vychodilo2	-30.3	-59.6	-46.6	-14.5	-15.6	54.0
adr842	6	Vychodilo2	-27.9	-56.8	-44.0	-14.0	-14.9	65.7
adr843	1	Pastviny	-34.6	-61.6	-48.4	-12.3	-11.4	129.1
adr844	6	Vychodilo2	-31.7	-60.8	-47.4	-14.3	-15.3	65.7
adr845	1	Pastviny	-31.1	-57.6	-41.0	-11.7	-9.8	149.9
adr846	36	Zahrebska2	-25.4	-54.1	-40.1	-13.9	-14.7	65.7
adr847	6	Vychodilo2	-29.8	-59.3	-46.5	-14.6	-15.8	54.0
adr848	44	NamSvorno 1	-29.0	-55.9	-41.7	-12.1	-10.9	129.1
adr849	36	Zahrebska2	-27.8	-55.2	-33.3	-12.6	-12.2	110.5
adr850	36	Zahrebska2	-24.1	-51.0	-36.9	-12.1	-11.0	129.1
adr851	36	Zahrebska2	-25.3	-54.0	-40.0	-13.9	-14.7	65.7
adr852	43	NamSvornos	-32.4	-60.8	-46.6	-13.6	-14.1	78.9
adr853	41	Tabor1	-25.1	-53.6	-39.7	-13.8	-14.4	78.9
adr854	41	Tabor1	-24.9	-51.9	-38.0	-12.3	-11.4	129.1
adr855	34	Zahrebska	-25.9	-52.9	-35.4	-12.2	-11.3	129.1
adr856	1	Pastviny	-29.7	-54.8	-41.7	-10.3	-1.1	228.5
adr857	43	NamSvornos	-28.5	-54.5	-40.4	-11.3	-8.5	198.0
adr858	34	Zahrebska	-31.5	-62.9	-48.4	-16.6	-18.5	0.0
adr859	36	Zahrebska2	-29.9	-60.4	-46.3	-15.7	-17.4	0.0

adr860	41	Tabor1	-25.6	-53.9	-39.7	-13.5	-14.0	78.9
adr861	43	NamSvornos	-32.6	-59.4	-45.2	-12.0	-10.6	129.1
adr862	43	NamSvornos	-26.9	-52.8	-38.7	-11.1	-7.6	198.0
adr863	44	NamSvorno 1	-21.4	-46.5	-32.4	-10.4	-2.7	228.5
adr864	44	NamSvorno 1	-21.6	-46.9	-32.7	-10.5	-3.6	228.5
adr865	1	Pastviny	-34.5	-60.2	-47.6	-11.0	-7.0	228.5
adr866	1	Pastviny	-33.0	-58.4	-45.8	-10.6	-5.0	228.5
adr867	1	Pastviny	-30.5	-55.7	-42.8	-10.4	-2.4	228.5
adr868	44	NamSvorno 1	-30.4	-59.6	-45.5	-14.4	-15.5	65.7
adr869	43	NamSvornos	-31.0	-56.7	-42.8	-10.9	-6.8	228.5
adr870	34	Zahrebska	-30.0	-59.1	-45.6	-14.2	-15.2	65.7
adr871	1	Pastviny	-31.6	-56.9	-44.2	-10.5	-4.3	228.5
adr872	45	NamSvorno 2	-28.7	-57.3	-43.1	-13.8	-14.5	78.9
adr873	43	NamSvornos	-28.8	-55.1	-36.2	-11.6	-9.4	172.8
adr874	34	Zahrebska	-28.4	-54.4	-40.7	-11.2	-8.2	198.0
adr875	43	NamSvornos	-35.8	-61.6	-47.7	-11.0	-7.2	228.5
adr876	43	NamSvornos	-30.1	-56.3	-42.1	-11.4	-8.8	172.8
adr877	39	Chodska2	-32.3	-61.6	-47.5	-14.5	-15.6	54.0
adr878	1	Pastviny	-35.4	-61.1	-48.5	-10.9	-6.6	228.5
adr879	45	NamSvorno 2	-25.4	-51.4	-37.3	-11.3	-8.5	198.0
adr880	3	Pastviny2	-33.5	-60.8	-47.8	-12.5	-11.9	110.5
adr881	3	Pastviny2	-33.0	-59.0	-45.5	-11.2	-8.2	198.0
adr882	40	Tabor	-29.6	-57.3	-43.2	-13.0	-12.9	93.8
adr883	3	Pastviny2	-34.1	-61.2	-48.2	-12.3	-11.4	129.1
adr884	3	Pastviny2	-33.7	-60.2	-46.8	-11.7	-9.9	149.9
adr885	40	Tabor	-24.9	-50.1	-34.7	-10.4	-3.1	228.5
adr886	1	Pastviny	-41.0	-69.2	-53.1	-13.4	-13.8	78.9
adr887	3	Pastviny2	-34.8	-61.7	-48.8	-12.1	-11.1	129.1
adr888	3	Pastviny2	-34.2	-61.8	-48.6	-12.9	-12.7	93.8
adr889	42	Tabor2	-32.2	-58.9	-45.6	-12.0	-10.6	129.1
adr890	1	Pastviny	-40.8	-68.8	-53.0	-13.2	-13.4	93.8
adr891	1	Pastviny	-37.8	-64.0	-51.4	-11.4	-8.9	172.8
adr892	3	Pastviny2	-35.1	-62.1	-49.2	-12.2	-11.2	129.1
adr893	3	Pastviny2	-34.8	-61.7	-48.8	-12.2	-11.1	129.1
adr894	43	NamSvornos	-32.6	-58.3	-45.1	-11.0	-7.0	228.5
adr895	45	NamSvorno 2	-27.3	-52.7	-38.8	-10.6	-4.8	228.5
adr896	40	Tabor	-31.9	-58.4	-44.2	-11.8	-10.0	149.9
adr897	40	Tabor	-33.3	-62.6	-48.3	-14.5	-15.7	54.0

