

**Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií  
a poštových služieb**

r. č.: .....

**Metodický pokyn**

**č. 1/OŠD/2016**

**na vyhodnocovanie splnenia rozvojových kritérií, ktoré na seba prevzali  
podniky v priebehu výberového konania, stanovených v podmienkach účelného  
využívania frekvencií v rámci**

**„Výzvy na predloženie ponúk do výberového konania na vydanie individuálnych  
povolení na používanie frekvencií z frekvenčných pásiem 800 MHz, 1800 MHz  
a 2600 MHz formou elektronickej aukcie“**



## Obsah

1 Základné ustanovenia.....	5
1.1 Skratky.....	5
1.2 Použité symboly.....	7
1.3 Úvod.....	8
2 Spoločné ustanovenia.....	9
2.1 Účel dokumentu.....	9
3 Hlava I.....	10
3.1 Podmienky pre používanie frekvencií.....	10
3.2 Základné vstupné parametre pre výpočet pokrytia obyvateľstva mobilnými komunikačnými službami.....	10
3.3 Minimálne požiadavky na úroveň signálu LTE.....	11
3.3.1 Všeobecne.....	11
3.3.2 Citlivosť obmedzená šumom na subnosnú.....	12
3.3.3 Pomer signálu k šumu potrebný na demoduláciu signálu.....	13
3.3.4 Užitočná citlivosť prijímača.....	16
3.4 Požadovaná minimálna mediánová hodnota vstupného výkonu.....	16
3.4.1 Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu RSRP.....	18
3.4.2 Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu v celej šírke prenášaného pásma.....	19
3.5 Minimálne požiadavky na úroveň signálu GSM.....	20
3.5.1 Všeobecne.....	20
3.5.2 Šumový prah.....	20
3.5.3 Pomer výkonu signálu k výkonu šumu potrebný na demoduláciu signálu.....	21
3.5.4 Užitočná citlivosť prijímača.....	21
3.5.5 Požadovaná minimálna mediánová hodnota úrovne vstupného výkonu.....	21
3.6 Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu GSM.....	22
3.7 Zhrnutie.....	23
4 Hlava II.....	23
4.1 Postup vyhodnocovania vypočítaných úrovní pokrytia pomocou RadioLab-u.....	23
5 Hlava III.....	24
5.1 Vyhodnocovanie.....	24

6 Hlava IV.....	25
6.1 Meranie pre účely kontroly úrovne pokrytia.....	25
6.2 Vyhodnotenie výsledkov kontroly.....	27
7 Prechodné ustanovenia.....	28
8 Záverečné ustanovenia.....	28
9 Použitá literatúra.....	29
10 Zoznam príloh.....	29

# 1 Základné ustanovenia

## 1.1 Skratky

Skratka	Význam
16-QAM	16 quadrature amplitude modulation <i>16 stavová kvadrátúrna amplitúdová modulácia</i>
3D	3-dimensional <i>3-rozmerný</i>
AGL	Altitude Ground Level <i>Výška (antény) nad úrovňou zeme</i>
ASL	Altitude Sea Level <i>Výška (päty stožiaru) nad úrovňou mora</i>
AWGN	Additive White Gaussian Noise <i>Aditívny biely Gaussov šum</i>
BER	Bit Error Rate <i>Bitová chybovosť</i>
BS	Base Station <i>Základňová stanica</i>
BW (B)	Band Width <i>Šírka pásma</i>
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power <i>Ekvivalentný izotropne vyžiarený výkon</i>
ELMP	Elektromagnetické pole
ERP	Effective Radiated Power <i>Efektívny vyžiarený výkon</i>
ETSI	European Telecommunications Standards Institute <i>Európsky inštitút pre telekomunikačné normy</i>
FDD	Frequency Division Duplex <i>Duplex s kmitočtovým delením</i>
GSM	Global System for Mobile Communications <i>Globálny systém mobilných komunikácií</i>
HCM	Harmonized Calculation Method <i>Harmonizovaná výpočtová metóda (resp. HCM dohoda)</i>
ID	IDentifier <i>Identifikátor</i>
IP	Individuálne povolenie na používanie frekvencií
ISO/OSI	Open Systems Interconnection Reference Model <i>Referenčný model štruktúry komunikačných a počítačových sieťových protokolov, vyvinutý ako súčasť iniciatívy Open Systems Interconnect.</i>
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector <i>Medzinárodná telekomunikačná únia – Sektor rádiokomunikácií</i>
LAT	Latitude <i>Zemepisná šírka</i>
LON	Longitude <i>Zemepisná dĺžka</i>

LTE	Long Term Evolution <i>Systém dlhodobej evolúcie</i>
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing <i>multiplex s ortogonálnym frekvenčným delením</i>
PER	Packed Error Rate <i>Chybovosť paketov</i>
QPSK	Quadrature phase-shift keying or 4QAM <i>Kľúčovanie štvorstavovým fázovým posuvom</i>
RadioLab	CRC Data, spol. s r. o. - Softvér pre výpočet úrovne elektrickej zložky elektromagnetického poľa nad terénom s morfológiou a na vyhodnocovanie pokrytia obyvateľstva.
RB	Resource Block <i>Zdrojový blok</i>
RE	Resource element <i>Zdrojový element</i>
RF	Radio Frequency <i>Rádiový kmitočet</i>
RSRP	Reference Signal Received Power <i>Výkon prijatého referenčného signálu</i>
SISO	Single Input Single Output <i>Jeden vstup, jeden výstup</i>
SW	SoftWare <i>Softvér</i>
TDD	Time Division Duplex <i>Duplex s časovým delením</i>
TR	Technical Report <i>Technická správa</i>
UE	User Equipment <i>Zariadenie používateľa</i>
Úrad	Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb
UTM	Universal Transverse Mercator <i>Univerzálny súradnicový systém</i>
WGS-84	World Geodetic System 1984 <i>Svetový geodetický systém z r. 1984</i>
ZEK	Zákon č. 351/2011 Z. z. o elektronických komunikáciách
ZS	Základňová stanica

## 1.2 Použité symboly

Symbol	Význam
$B$	šírka prenosového pásma
$C$	teoretická prenosová kapacita kanála
$f$	kmitočet = $\omega/2\pi$
$f_{max}$	maximálny kmitočet pravouhlého signálu
$h$	Planckova konštanta = $6,62 \cdot 10^{-34}$ J/s
$k$	Boltzmanova konštanta = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K
$M$	počet stavov digitálneho signálu
$n$	počet bitov vyjadrených vo viac stavovom signáli
$N$	výkon šumov
$R$	hodnota odporu v $\Omega$
$S$	výkon užitočného signálu v ktorom je obsiahnutý aj šum
$S_{(\Omega)}$	spektrálna hustota šumového napätia
$T$	absolútna teplota odporu $R$ v Kelvinoch (K)
$t_{min}$	najkratšia doba trvania informačného impulzu
$T_{min}$	minimálna doba trvania periódy pravouhlého signálu
$v_t$	maximálna modulačná rýchlosť

### 1.3 Úvod

(1) Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb (ďalej len „úrad“) ako orgán štátnej správy v oblasti elektronických komunikácií a poštových služieb podľa § 6 ods. 1 písm. b) zákona č. 351/2011 Z. z. v znení neskorších predpisov (ďalej len „ZEK“) podľa článku 3, písm. c) Organizačného poriadku úradu r. č. 128/PU/2015 vydaného 29. júna 2015 a článku 3, ods. 1, písm. c) smernice č. 12/2014 o tvorbe všeobecne záväzných právnych predpisov a vnútorných organizačných a riadiacich predpisov vydáva tento metodický pokyn.



## 2 Spoločné ustanovenia

### 2.1 Účel dokumentu

#### § 1

(1) Úrad vydáva tento dokument, ktorým stanovuje postup vyhodnocovania pokrytia obyvateľstva signálmi<sup>1)</sup> vysokorýchlostných mobilných sietí<sup>2)</sup> vo frekvenčných pásmach 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz.

(2) Tento dokument upravuje jednotný postup pri plnení úloh kontroly pokrytia stanoveného percentuálneho počtu obyvateľov Slovenskej republiky, ktorým je dostupná služba poskytovaná prostredníctvom signálov prenášaných prostredníctvom frekvencií pridelených na základe výsledkov výberového konania na vydanie individuálnych povolení na používanie frekvencií z frekvenčných pásiem 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz formou elektronickej aukcie pre mobilné elektronicke komunikačné siete (ďalej len „úroveň pokrytia“), ktorú v súlade s § 33 ods. 15 ZEK na seba záväzne prevzal úspešný účastník výberového konania (ďalej len „podnik“). Predmetná povinnosť bola podniku stanovená vo výroku príslušného individuálneho povolenia (ďalej len „IP“) v časti „Záväzky, ktoré na seba prevzal podnik v priebehu výberového konania“<sup>3)</sup>, ktorým úrad rozhodol o pridelení frekvencií dotknutému podniku.

#### § 2

(1) Základom vyhodnocovania úrovne pokrytia je vypočítaná teoretická úroveň pokrytia populačných jednotiek, t. j. dlaždíc 100 m x 100 m v mape Slovenskej republiky. Daná populačná jednotka sa považuje za pokrytú, ak je pokrytý geometrický stred k nej prislúchajúcej dlaždice 100 m x 100 m.

(2) V prvej hlave dokument stanovuje limitné hodnoty pre výpočet plnenia rozvojových kritérií pomocou softvérového nástroja RadioLabV4 od dodávateľa CRC Data (ďalej len „RadioLab“), v ktorých je premietnutá podmienka simulácie zaťažiteľnosti siete.

(3) V druhej hlave dokument stanovuje jednotný záväzný postup zadania vstupných parametrov a postup pri výpočte pokrytia pomocou RadioLab-u.

(4) V tretej hlave dokument stanovuje jednotný postup pracovníkov poverených výkonom dohľadu pri zistení nesúladu vypočítaného pokrytia s podmienkami stanovenými v IP a so záväzkami z výberového konania, ktoré úspešní uchádzači uviedli v ponuke.

---

<sup>1)</sup> Výkladový terminologický slovník elektronických komunikácií: [http://www.vus.sk/iecd/new/Vyklad\\_srch.asp](http://www.vus.sk/iecd/new/Vyklad_srch.asp):

„**signál** tvorí časová postupnosť prvkov, z ktorých každý má jednu alebo viac charakteristík, ktoré môžu vyjadrovať informácie, napríklad o trvaní, tvare a amplitúde vlny“

<sup>2)</sup> Výzva na predloženie ponúk do výberového konania na vydanie individuálnych povolení na používanie frekvencií z frekvenčných pásiem 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz formou elektronickej aukcie: bod 2.1.1, 2. ods. str. 4 a 5

<sup>3)</sup> Výzva na predloženie ponúk do výberového konania na vydanie individuálnych povolení na používanie frekvencií z frekvenčných pásiem 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz formou elektronickej aukcie

## 3 Hlava I

### 3.1 Podmienky pre používanie frekvencií

#### § 3

(1) Úspešní účastníci výberového konania, ktorým bolo vydané IP v rámci výberového konania, sú okrem iného povinní splniť nasledujúce podmienky:

- a) pokryť mobilnými komunikačnými službami prostredníctvom svojej vlastnej siete stanovený percentuálny počet obyvateľov SR k stanovenému termínu,
- b) v prípade použitia technológie GSM pre hlasové telefonické služby (vo frekvenčnom pásme *1800 MHz*) na pokrytom území garantovať minimálnu prenosovú rýchlosť pre koncového používateľa *12,2 kbit/s*,
- c) v prípade použitia technológie LTE na pokrytom území garantovať minimálnu prenosovú rýchlosť pre koncového používateľa dátových služieb *2 Mbit/s* pre zostupný smer (ďalej len „downlink“) a *256 kbit/s* pre vzostupný smer (ďalej len „uplink“) (bez agregácie) pri vonkajšom príjme (outdoor).

### 3.2 Základné vstupné parametre pre výpočet pokrytia obyvateľstva mobilnými komunikačnými službami

#### § 4

(1) Úrad pri teoretickom vyhodnocovaní splnenia podmienok stanovených v IP týkajúcich sa pokrytia obyvateľstva signálmi vysokorýchlostných sietí v kmitočtových pásmach *800 MHz*, *1800 MHz* a *2600 MHz* musí podľa § 11, ods. 2 ZEK prihliadať na odporúčania, technické normy a špecifikácie pre siete a služby. Teoretické vyhodnocovanie pokrytia je založené na predikcii šírenia signálov. Na riešenie predikcie signálu v predmetných kmitočtových pásmach existujú medzinárodné odporúčania ITU-R P.1546 a ITU-R P.1812, podľa ktorých úrad pri teoretických vyhodnocovaniach pokrytia úrovňami signálov postupuje.

(2) Na tento účel úrad používa RadioLab, ktorý umožňuje vyhodnocovať pokrytie na základe predikcie šírenia rádiových vln nad digitálnym modelom terénu SR s implementovanými morfológickými dátami.

(3) Správna činnosť RadioLab-u vyžaduje zadanie určitých vstupných údajov a parametrov. Rozbor základných údajov a parametrov pre výpočet pokrytia je uvedený v prílohe č. 1.

(4) RadioLab umožňuje vyhodnocovať pokrytie prostredníctvom jediného parametra – limitnej veľkosti úrovne elektrickej zložky elektromagnetického poľa.

### 3.3 Minimálne požiadavky na úroveň signálu LTE

#### 3.3.1 Všeobecne

##### § 5

(1) Pri stanovovaní potrebnej úrovne signálu pre výpočet pokrytia pomocou RadioLab-u úrad vychádza z požiadavky zabezpečenia minimálnej prenosovej rýchlosti pre koncového používateľa pri zaťažení siete, pri zohľadnení podmienky efektívneho využitia frekvenčného spektra a technických parametrov zariadenia používateľa (ďalej len „UE“).

(2) Minimálnou požiadavkou pre dostupnosť služieb je dostatočná úroveň signálu (s dostatočným odstupom od šumov a hlukov pozadia) v mieste jeho príjmu. Na účely výpočtu pokrytia územia, resp. obyvateľstva pomocou RadioLab-u je potrebné túto úroveň špecifikovať zadaním hodnoty minimálnej intenzity elektromagnetického poľa signálu, ktorý sa prenesie cez anténu a napájač na vstup prijímača, pre požiadavku správnej demodulácie.

(3) Výpočet minimálnych požadovaných hodnôt parametrov signálu LTE v tomto dokumente vychádza z vlastností signálu LTE pre šírku prenosového kanála 5 MHz, pokiaľ nie je uvedené inak. Základnými vstupnými podmienkami pre tento výpočet sú požiadavky na minimálnu požadovanú prenosovú rýchlosť dát uvedené v § 3 ods. 1 písm. c) v zmysle ich spresnenia uvedeného v nasledujúcich odsekoch.

(4) V požiadavke § 3 ods. 1, písm. c) je uvedené slovné spojenie (pojem) „bez agregácie“. V súvislosti s technológiou sietí LTE je tento pojem chápaný v súlade s Technickými špecifikáciami<sup>4)</sup> pre rádiové vysielanie a príjem LTE, a s podmienkami stanovenými v ZEK<sup>5)</sup> pretransformovanými do individuálnych povolení. Pojem „bez agregácie“ sa v súlade s § 32, ods. 9, písm. c) ZEK spája s efektívnosťou využívania spektra (na ostatné podmienky uvedené v ZEK tento pojem nemá vplyv, napr. rušenie, ožiarenie, ...).

(5) Vzhľadom na podmienky stanovenia pokrytia uvedených vo výzve, sa úroveň pokrytia hodnotí **len ako výsledná vypočítaná úroveň teoretického pokrytia, za podmienky simulácie úrovne využitia kapacity kanála**. Úrad pri stanovovaní limitných hodnôt, v návaznosti na technické špecifikácie pre LTE, zvolil ako kompromisnú hodnotu „bez agregácie“<sup>4)</sup> 6 zdrojových blokov predstavujúcich simulované využitie kapacity kanála, napr. pri systémovej konfigurácii 50 RB (10 MHz) 8 účastníkmi. Pri menšom počte zdrojových blokov (menej ako 6) by nebola reálne dosiahnutá prenosová rýchlosť 2 Mb/s pre koncového účastníka stanovená v IP.

(6) Šírka pásma jedného zdrojového bloku (ďalej len „RB“) v prípade downlinku je  $B_{RB} = 180 \text{ kHz}$ , čo znamená, že šírka kmitočtového pásma „neagregovaného“ bloku zloženého zo 6 zdrojových blokov je

$$B_{neagreg} = 6 \cdot B_{RB} = 1080 \text{ kHz} . \quad (1)$$

(7) Výsledná prenosová rýchlosť od základňovej stanice k účastníkovi nesmie poklesnúť pod 2 Mbit/s na „neagregovanom“ počte zdrojových blokov, t. j. 6 RB.

(8) Vzhľadom na asymetriu medzi uplinkom a downlinkom (0,25 Mb/s : 2 Mb/s) má na stanovenie limitnej hodnoty veľkosti úrovne elektrickej zložky elektromagnetického poľa (ďalej len „ELMP“)  $E_{min}$  podstatný vplyv prenosový kanál od základňovej stanice (ďalej len „BS“) smerom

<sup>4)</sup> ETSI TS 136 101 V12.5.0 (2014-11): kap. 3.1, alebo napr. ETSI TS 136 211 V12.3.0 (2014-10): kap. 4 a nasledujúce, alebo napr. ETSI TS 136 213 V12.3.0 (2014-10): kap. 4 a nasledujúce.

<sup>5)</sup> Zákon č. 351/2011 Z. z. o elektronických komunikáciách v platnom znení: § 32, ods. 2 a § 32, ods. 9.

k UE (downlink). Z uvedeného dôvodu v ďalšej časti dokumentu je analyzovaný len smer pre downlink.

### 3.3.2 Citlivosť obmedzená šumom na subnosnú

#### § 6

(1) Jedným zo základných faktorov obmedzujúcim citlivosť prijímača je citlivosť obmedzená šumom, tzv. „šumový prah“. Šumový prah (úroveň tepelného – bieleho šumu na vstupe prijímača) závisí od spektrálnej hustoty tepelného šumu (t. j. šumový výkon v šírke pásma 1 Hz), ktorá sa vypočíta zo vzťahu (viď príloha č. 3):

$$P_{\xi/1\text{Hz}[dBm]} = 10 \cdot \log(kT) + 10 \cdot \log(1000) \text{ [dBm]} \quad (2)$$

kde:  $P_{\xi/1\text{Hz}}$ : spektrálna hustota tepelného šumu (pre šírku pásma 1 Hz);  
 $k$ : Boltzmanova konštanta  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ;  
 $T$ : absolútna teplota (priemerná hodnota 16,9 °C)  $T = 290 \text{ K}$ ;  
 $B$ : šírka prenášaného pásma  $B = 1 \text{ Hz}$ ;  
 $10 \cdot \log(1000)$  je prevod z dBW na dBm,  
 potom spektrálna hustota tepelného šumu v dBm je:

$$P_{\xi/1\text{Hz}[dBm]} = 10 \cdot \log(1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 1) + 30 = -173,98 \text{ dBm}. \quad (3)$$

(2) Výkon tepelných šumov na vstupe prijímača pre konkrétnu šírku prenášaného pásma filtrov prijímača sa vypočíta zo vzťahu:

$$P_{\xi/B_3[dBm]} = 10 \cdot \log(kTB_3) + 10 \cdot \log(1000) \text{ [dBm]} \quad (4)$$

kde:  $P_{\xi/B_3}$ : úroveň výkonu tepelného šumu pre šírku pásma rádiového kanála o šírke pásma  $B_3$ ;  
 $B_3$ : šírka prenášaného pásma v [Hz];  
 $10 \cdot \log(1000)$  je prevod z dBW na dBm.

3) Použitím vzťahov č. (3) a (4) vznikne zjednodušený vzťah pre výpočet úrovne výkonu šumov pre požadovanú šírku pásma

$$P_{\xi/B_3[dBm]} = -174 + 10 \cdot \log(B_3) \text{ [dBm]}. \quad (5)$$

4) Základným parametrom prijímača je jeho tzv. citlivosť obmedzená šumom (prahová citlivosť), ktorá je závislá od úrovne tepelného šumu a šumového čísla prijímača  $F$ . Pre prijímače LTE je určená šírka pásma referenčných signálov RSRP. Vzďialenosť nosných je 15 kHz, čo znamená i rovnakú šírku kmitočtového pásma pre RSRP. Potom úroveň výkonu tepelných šumov na vstupe prijímača pre kmitočtovú šírku pásma 15 kHz je:

$$P_{\xi/RSRP} = 10 \cdot \log(1,32 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 15 \cdot 10^3) + 10 \cdot \log(1000) = -132,22 \text{ dBm}; \quad (6)$$

kde:  $P_{\xi/RSRP}$ : úroveň výkonu tepelného šumu na vstupe prijímača pre šírku pásma RSRP;  
 $B$ : šírka prenášaného pásma  $B = 15 \text{ kHz}$ .

5) K stanoveniu prahovej citlivosti prijímača obmedzenej šumom je potrebné k úrovni výkonu tepelných šumov pripočítať šumové číslo obvodov prijímača:

$$P_{Pr} = F + P_{\dot{S}/RSRP} \quad (7)$$

kde:  $P_{Pr}$ : prahová citlivosť obmedzená šumom [dBm]  
 $P_{\dot{S}/RSRP}$ : výkonová úroveň tepelného šumu na vstupe prijímača pre šírku pásma RSRP [dBm]  
 $F$ : šumové číslo prijímača [dB].

(6) Šumové číslo prijímača je v zmysle technických špecifikácií 9 dB<sup>6)</sup>. Po jeho dosadení do vzťahu (7), a pri zohľadnení výsledku vzťahu (6), dostaneme limitnú hodnotu citlivosti prijímača signálu LTE na kanáli RSRP<sub>[15 kHz]</sub> – citlivosť prijímača na kanáli RSRP obmedzenú šumom  $P_{Lim\dot{S}/RSRP}$ :

$$P_{Lim\dot{S}/RSRP} = 9 \text{ dB} + (-132,22 \text{ dBm}) = -123,22 \text{ dBm}. \quad (8)$$

### 3.3.3 Pomer signálu k šumu potrebný na demoduláciu signálu

#### § 7

(1) Minimálny pomer prijímaného užitočného signálu k šumu, ktorý je potrebný na to, aby prijímač mohol signál správne demodulovať, je odvodený z požiadavky na zabezpečenie minimálnej prenosovej rýchlosti pre koncového používateľa dátových služieb (pozri § 3 tohto dokumentu).

(2) Vzťah medzi kapacitou kanála (prenosovou rýchlosťou, ktorá predstavuje dosiahnuteľnú dátovú kapacitu čistých dát, t. j. bez korekčných kódov) a pomerom signálu k šumu je daný Shannon-Hartleyho teorémou<sup>7)</sup>:

$$C = \int_0^B \log_2 \left( 1 + \frac{S(f)}{N(f)} df \right) \quad (9)$$

kde:  $C$ : kapacita kanála [bit/s]  
 $B$ : šírka frekvenčného pásma [Hz]  
 $S$ : spektrálna výkonová hustota signálu [W/Hz]  
 $N$ : spektrálna výkonová hustota šumu [W/Hz]  
 $f$ : kmitočet [Hz].

(3) V prípade signálu LTE sa predpokladá, že v rámci danej šírky frekvenčného pásma bude pomer signálu k šumu konštantný a šum  $N(f)$  bude mať charakter aditívneho bieleho Gaussovho šumu. Potom je možné Shannon-Hartleyho teorému vyjadriť v tvare:

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (10)$$

kde:  $C$ : kapacita kanála [bit/s];  
 $B$ : šírka frekvenčného pásma [Hz];  
 $S$ : stredný výkon signálu v danej šírke pásma [W];  
 $N$ : stredný výkon šumu v danej šírke pásma [W].

(4) Hodnota kapacity kanála (požadovanej prenosovej rýchlosti) uvedená v § 3 tohto dokumentu predstavuje hodnotu čistej dátovej rýchlosti, ktorú má k dispozícii používateľ (ide

<sup>6)</sup> Pozri ETSI TR 136 931 V10 (bod 5.3.3).

<sup>7)</sup> Herbert Taub, Donald L. Schilling (1986). Principles of Communication Systems. McGraw-Hill.

o prenosovú rýchlosť na 4. (transportnej) vrstve modelu ISO/OSI). Preto hodnotu kapacity kanála na fyzickej vrstve je potrebné oproti požiadavke na downlink (§ 3 ods. (1) písm. c)) upraviť nasledovne:

- a) zvýšiť cca o 25 %, t. j. o 0,5 Mbit/s, nakoľko do prenosovej rýchlosti na fyzickej vrstve sa musia započítať aj subnosné pilotné a subnosné prenášajúce riadiace signály, ktorých je asi 25 % z celkového počtu nosných<sup>8)</sup>,
- b) zvýšiť o 0,2 Mbit/s, keďže pri prenose zapuzdrených (paketových) dát sa určitý počet bitov používa na vytvorenie hlavičiek jednotlivých paketov.

(5) Po korekcii uvedenej v predchádzajúcom odseku kapacita kanála na fyzickej vrstve nadobúda hodnotu:

$$C = 2 \cdot 1,25 + 0,2 = 2,7 \text{ Mbit/s} \quad (11)$$

(6) Hodnota šírky frekvenčného pásma  $B$  sa zvolí v súlade s § 3 pre 6 zdrojových blokov nasledovne:

$$B = B_{neagreg} = 6 \cdot B_{RB} = 1080 \text{ kHz} \quad (12)$$

(7) V prípade LTE sa používajú viacstavové modulácie (*QPSK, 16-QAM a 64-QAM*). Keď berieme do úvahy limit pre Nyquistovu rýchlosť, pri viacstavových moduláciách platí:

$$v_p = \frac{1}{t_{min}} \cdot \log_2 M; [b/s] \quad (13)$$

kde:  $v_p$ : prenosová rýchlosť;  
 $t_{min}$ : minimálna doba trvania informačného impulzu;  
 $M$ : počet stavov.

(8) V systéme LTE sa modulačný signál vysiela v modulačnom rámci s trvaním 10 ms. Každý modulačný rámec je rozdelený na 10 subrámcov, pričom jeden subrámec má dva sloty. Každý slot má dobu trvania – dĺžku 0,5 ms (príloha č. 3). V tomto slotu je pri normálnom prefixe odvysielaných 7 symbolov<sup>9)</sup>. Potom minimálna doba trvania symbolu  $t_{min}$  je:

$$t_{min} = \frac{(0,5 \cdot 10^{-3})}{7} \simeq 71,43 \mu s. \quad (14)$$

Na jednu subnosnú bude pripadať prenosová rýchlosť (pozri vzťah (13) a (14)):

– v prípade *QPSK* ( $M=4$ ):  $v_p = \frac{1}{71,43 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2(4) = 28 \text{ kb/s}$ ;

- v prípade *16-QAM* ( $M=16$ ):  $v_p = \frac{1}{71,43 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2(16) = 56 \text{ kb/s}$ ;

v prípade *64-QAM* ( $M=64$ ):  $v_p = \frac{1}{71,43 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2(64) = 84 \text{ kb/s}$ .

Po prepočítaní na 6 RB (1 RB tvorí 12 subnosných frekvencií) dostaneme tieto hodnoty dosiahnuteľnej prenosovej rýchlosti:

<sup>8)</sup> <http://frankrayal.com/2011/06/27/lte-peak-capacity/>

<sup>9)</sup> ETSI TS 136 211 V12.3.0 (2014-10): bod 5.2.3

- v prípade *QPSK*:  $v_p = 28 \cdot 12,6 = 2016 \text{ kb/s}$ ;
- v prípade *16-QAM*:  $v_p = 56 \cdot 12,6 = 4032 \text{ kb/s}$ ;
- v prípade *64-QAM*:  $v_p = 84 \cdot 12,6 = 6048 \text{ kb/s}$ .

(9) Z výsledkov uvedených v predchádzajúcom odseku vyplýva, že na splnenie požiadavky na zabezpečenie minimálnej prenosovej rýchlosti pre downlink (§ 3 ods. (1) písm. c)) je **v prípade FDD potrebné použiť minimálne 16-stavovú moduláciu (16-QAM, príloha č. 3)**.

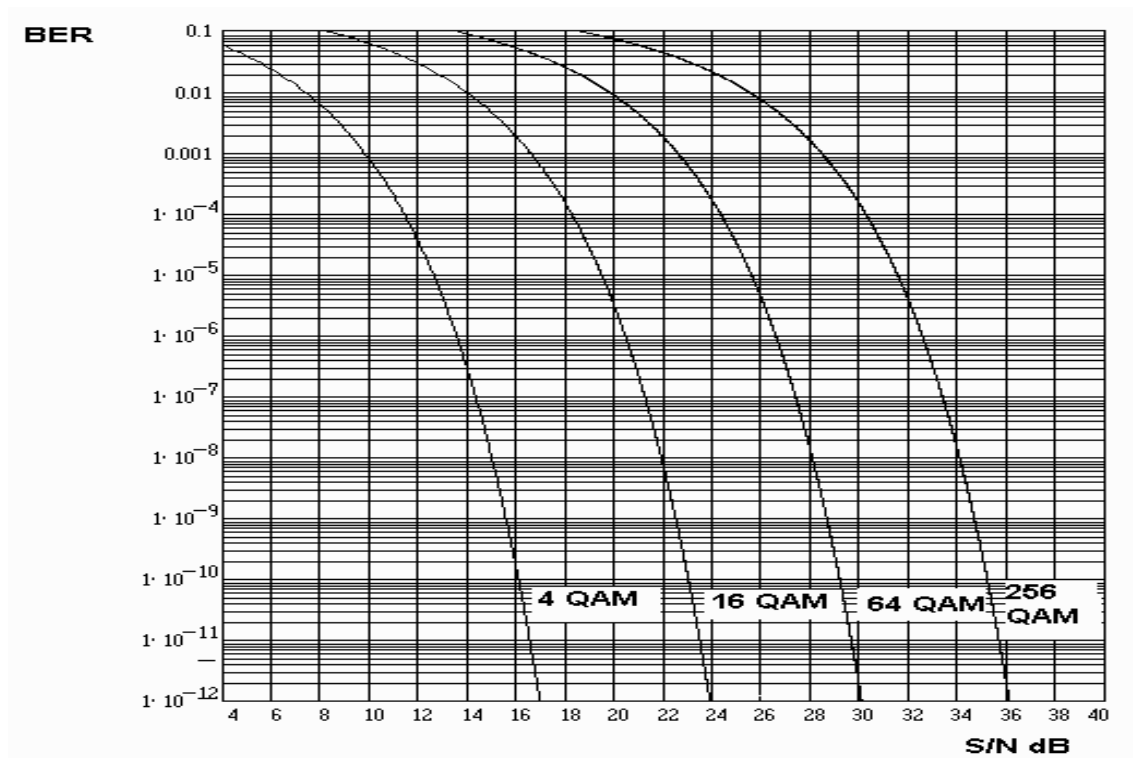
(10) **V prípade TDD** by pri rovnakom rozdelení času pre uplink a downlink bolo potrebné minimálnu prenosovú rýchlosť na fyzickej vrstve pre downlink zvýšiť dvojnásobne. Vzhľadom na nerovnomerné rozdelenie zabezpečenia prenosovej rýchlosti pre downlink ( $2 \text{ Mb/s}$ ) a uplink ( $0,25 \text{ Mb/s}$ ), sa rámec OFDMA TDD rozdelí v čase medzi downlinkom a uplinkom proporcionálne podľa požadovaných prenosových rýchlostí v súlade s technickými špecifikáciami. Potom na zabezpečenie minimálnej prenosovej rýchlosti pre downlink (§ 3 ods. (1) písm. c)) je možné použiť tiež **16-stavovú moduláciu (16-QAM)**, avšak s menšou povolenou chybovosťou ( $BER = 10^{-5}$ , príloha č. 3).

(11) Zo zobrazených kriviek na obr. 1 je zrejmé, že v prípade FDD je na zabezpečenie príjmu signálu LTE s moduláciou *16-QAM* pri chybovosti  $BER = 1 \cdot 10^{-4}$  potrebný minimálny odstup signálu od šumu  $S/N_{FDD-16QAM} = 18 \text{ dB}^{10)}$ .

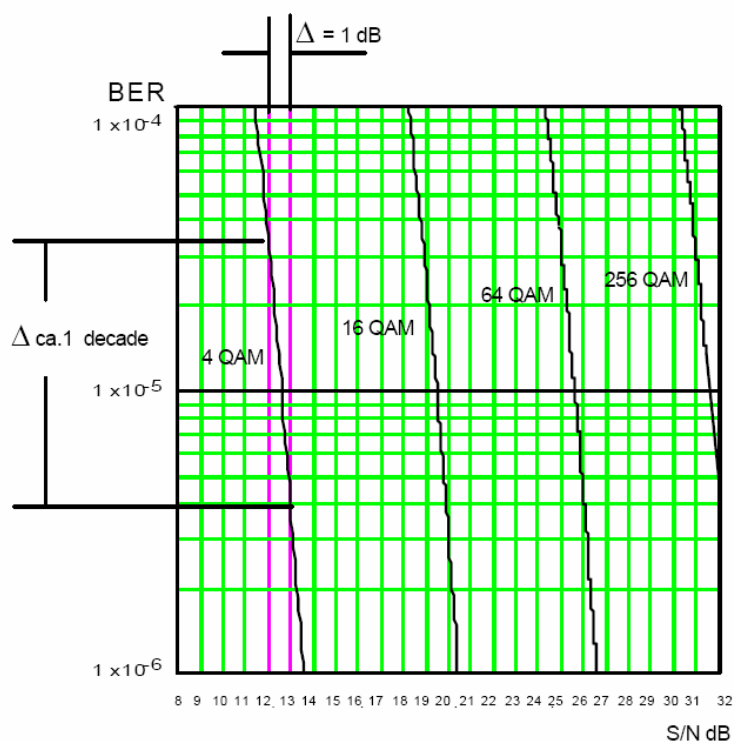
(12) Rovnako z obr. 1 a obr. 2 vyplýva, že v prípade TDD je pre zabezpečenie príjmu signálu LTE s moduláciou *16-QAM* pri chybovosti  $BER = 1 \cdot 10^{-5}$  potrebný minimálny odstup signálu od šumu  $S/N_{TDD-16QAM} = 19,5 \text{ dB}$ .

---

<sup>10)</sup> ITU-R SM.1235: Performance functions for digital modulation systems in an interference environment; fig. 24, str. 15 získame obdobné hodnoty.



Obr. 1: Závislosť odstupu signálu od šumu (dB) od druhu modulácie a od chybovosti BER<sup>11)</sup>



Obr. 2: Závislosť odstupu signálu od šumu (dB) od druhu modulácie a od chybovosti BER – detail<sup>12)</sup>.

### 3.3.4 Užitočná citlivosť prijímača

#### § 8

<sup>11)</sup> Rohde&Schwartz: Bit error ratio BER in DVB as function S/N; str. 3, obr. 1.

<sup>12)</sup> Rohde&Schwartz: Bit error ratio BER in DVB as function S/N; str. 4, obr. 2.



1) Užitočná citlivosť prijímača pre signál RSRP (t. j. minimálny požadovaný výkon signálu RSRP na vstupe prijímača) je definovaná ako súčet šumu na vstupe demodulátora  $P_{Citl/RSRP}$  [dBm] a požadovaného odstupe signálu od šumu potrebného na demoduláciu signálu nasledovne:

$$P_{Citl/RSRP} = P_{Limš/RSRP} + \frac{S}{N} \text{ [dBm]} \quad (15)$$

kde:  $S/N$ : odstup signálu od šumu potrebný na demoduláciu signálu LTE 16-QAM [dB];

$P_{limš/RSRP}$ : šum na vstupe demodulátora [dBm].

(2) Po dosadení požadovaných hodnôt  $S/N$  do vzťahu (15) je hodnota užitočnej citlivosti prijímača, t. j. minimálnej hodnoty úrovne výkonu signálu RSRP na vstupe prijímača, ktorú je prijímač schopný detekovať pre FDD, resp. TDD, nasledovná:

$$P_{citl/RSRP-FDD} = -123,22 + 18 = -105,22 \text{ dBm/15 kHz} \quad (16)$$

$$P_{citl/RSRP-TDD} = -123,22 + 19,5 = -103,72 \text{ dBm/15 kHz} \quad (17)$$

### 3.4 Požadovaná minimálna mediánová hodnota vstupného výkonu

#### § 9

(1) V reálnych podmienkach vzhľadom na nehomogenitu a časovú nestálosť prostredia, v ktorom sa signál LTE šíri, úroveň signálu kolíše. Hodnoty jeho výkonu by v prípade merania  $j$  hodnôt  $j \rightarrow \infty$  kopírovali normálne rozdelenie. Ak by bol teda výkon vysieláča nastavený na takú hodnotu, aby na vstupe prijímača bola požadovaná minimálna vstupná úroveň vypočítaná zo vzťahu (15), po realizácii  $j$  meraní by sa preukázalo, že príjem je zabezpečený v 50 %.

(2) Pre reálne prevádzkované služby musí byť zabezpečený príjem s vyššou pravdepodobnosťou ich dostupnosti, a preto za účelom zvýšenia pravdepodobnosti príjmu je potrebné hodnotu minimálnej požadovanej vstupnej úrovne zvýšiť o tzv. lokačný korekčný faktor<sup>13)</sup>:

$$C_L = \mu \cdot \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_m^2}; \text{ [dB; -; dB; dB]} \quad (18)$$

kde:  $C_L$ : lokačný korekčný faktor [dB];

$\mu$ : distribučný faktor (0,524 pre 70 %; 0,674 pre 75 %; 1,282 pre 90 %; 1,645 pre 95 % a 2,327 pre 99 % miest)<sup>14)</sup>;

$\sigma_b$ : štandardná odchýlka tlmenia budov [dB];

$\sigma_m$ : štandardná odchýlka škálovania (pre digitálne systémy so šírkou pásma väčšou ako 1 MHz ( $\sigma_m = 5,5$  dB)<sup>15)</sup>).

(3) Hodnoty lokačného korekčného faktoru pre rôznu pravdepodobnosť miesta v prípade vonkajšieho ( $\sigma_b = 0$  dB) príjmu sú uvedené v tab. 1.

<sup>13)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, vz. (33) str. 47 a nasl.; tab. 2 a 3.

<sup>14)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, tab. 3 str. 51.

<sup>15)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, tab. 2 str. 48.

**Tabuľka 1: Lokačný korekčný faktor pre vonkajší príjem v dB<sup>16)</sup>**

Pravdepodobnosť miesta	90 %
$C_{L/outdoor} (\sigma_m = 0 \text{ dB})$	7,05

(4) V praxi na výpočet požadovanej minimálnej mediánovej hodnoty úrovne vstupného signálu  $P_{med}$  vplýva aj priemyselný šum, avšak v pridelených kmitočtových pásmach podnikom je jeho vplyv minimálny.

(5) Požadovaná minimálna mediánová hodnota úrovne výkonu vstupného signálu sa rovná užitočnej citlivosti prijímača zvýšenej o úroveň výkonu priemyselného šumu a o lokačný korekčný faktor podľa vzorca<sup>17)</sup>:

$$P_{med} = P_{citl/RSRP} + P_{\text{šum-priemys}} + C_L; \quad [dBm/15 \text{ kHz}] \quad (19)$$

kde:  $P_{med}$ : požadovaná minimálna mediánová hodnota úrovne výkonu vstupného signálu [dBm];

$P_{\text{šum-priemys}}$ : výkon priemyselného šumu (v prípade LTE  $P_{\text{šum-priemys}} = 0 \text{ dB}$ ).

6) Požadované minimálne mediánové hodnoty úrovne výkonu vstupného signálu potrebné k stanoveniu limitnej hodnoty ELMP pre vonkajší príjem v Radiolab-e pre pravdepodobnosť miesta 90 % a pre šírku kanála 15 kHz sú uvedené v tab. 2.

**Tabuľka 2: Minimálne mediánové hodnoty úrovne výkonu vstupného signálu RSRP pri vonkajšom prijíme**

<b>Pravdepodobnosť miesta</b>	<b>90 %</b>
$P_{med(FDD)} [dBm]$	-98,17
$P_{med(TDD)/outdoor} [dBm]$	-96,87

### 3.4.1 Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu RSRP

#### § 10

(1) Pri uvažovaní základných parametrov prijímača popísaných vyššie, a na základe podmienok príjmu stanovených vo výzve, sa požadovaná minimálna intenzita ELMP  $E_{med/RSRP}$  potrebná na zabezpečenie dostatočnej minimálnej vstupnej úrovne výkonu  $P_{med}$  na svorkách prijímača vypočíta nasledovne<sup>18)</sup>:

$$E_{med/RSRP} = P_{med/RSRP} + 107 + K_{ant-UE} + b_{nap}; \quad [dB\mu V/m; dB; dB/m; dB], \quad (20)$$

kde:

$E_{med/RSRP}$  - minimálna mediánová úroveň intenzity ELMP na 15 kHz;

$P_{med/RSRP}$  - užitočná citlivosť prijímača pre signál RSRP;

107 - konštanta na prevod úrovne výkonu na úroveň napätia pre impedanciu 50 Ω;

$K_{ant-UE}$  - K-faktor antény koncového zariadenia;

$b_{nap}$  - útlm napájacia, pre UE  $b_{nap} = 0 \text{ dB}$ .

<sup>16)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, vz. (33) str. 47 a nasl.; tab. 2 a 3.

<sup>17)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, vz. (33) str. 47 a nasl.; tab. 2 a 3.

<sup>18)</sup> CEPT/ERC/REC 74-02 E: kap. 3 Basic theoretical principles

(2)  $K$ -faktor antény pri známej hodnote zisku antény koncového zariadenia je možné vypočítať zo vzťahu<sup>19)</sup>:

$$K = 20 \cdot \log(f) - G_i - 29,77; [dB/m; dBi; MHz; dB/m], \quad (21)$$

kde:

$K$  – je  $K$ -faktor antény;

$f$  – je kmitočet [MHz] pre ktorý sa počíta  $K$ -faktor;

$G_i$  – je zisk antény voči izotropnému žiarču [dBi].

Dosadením vzťahu č. (21) do (20) získame vzťah pre výpočet  $E_{med}$  na 15 kHz:

$$E_{med/RSRP} = P_{med/RSRP} + 107 + 20 \cdot \log(f) + b_{nap} - G_i - 29,77; [dB\mu V/m; dB; MHz; dB; dBi; dB/m] \quad (22)$$

kde:

$E_{med}$ : minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu na šírku kanála RSRP – 15 kHz;

$P_{med/RSRP}$ : minimálna mediánová hodnota požadovaného vstupného výkonu vyjadrená v dBm;

$G_i$ : zisk prijímacej antény (vyjadrený v dBi) vzťahnutý k izotropnému žiarču (pre typický prijímač  $G_i = 0$  dBi<sup>20)</sup>;

$f$ : frekvencia signálu vyjadrená v MHz;

$b_{nap}$ : straty v napájači vyjadrené v dB (typicky  $b_{nap} = 0$ ).

(3) Vypočítané hodnoty  $K$ -faktora antén UE pre zisk antén 0 dBi podľa vzťahu č. (21) sú uvedené v tab. 3.

**Tabuľka 3:** Vypočítané hodnoty  $K$ -faktora antén UE pre jednotlivé kmitočtové pásma 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz a zisk antény  $G_i = 0$  dBi<sup>19)</sup>.

K-faktor antény UE pre $G_i = 0$ dBi			
Kmitočet [MHz]	800	1850	2600
K-faktor [dB/m]	28,29	35,57	38,53

4) Vypočítané minimálne mediánové hodnoty intenzity ELMP signálu RSRP pre frekvencie 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz pre príjem vo vonkajšom prostredí a pre pravdepodobnosť miesta 50 % a 90 % sú uvedené v tab. 4.

<sup>19)</sup> CEPT/ERC/REC 74-02 E: kap. 3 Basic theoretical principles, str. 4

<sup>20)</sup> ETSI TS 136 521-1 V12.7.0 (2015-10): LTE User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 1: Conformance testing; kap. 7.1, str. 664

**Tabuľka 4:** Vypočítané minimálne mediánové hodnoty intenzity elektromagnetického poľa signálu **RSRP** pre príjem vo vonkajšom prostredí vo výške 1,5 m nad úrovňou terénu pre frekvencie 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz.

Pravdepodobnosť miesta	$E_{med(RSRP)FDD}$ [dBμV/m] $f = 800 \text{ MHz}$	$E_{med(RSRP)FDD}$ [dBμV/m] $f = 1800 \text{ MHz}$	$E_{med(RSRP)FDD}$ [dBμV/m] $f = 2600 \text{ MHz}$	$E_{med(RSRP)TDD}$ [dBμV/m] $f = 2600 \text{ MHz}$
50%	30,07	37,35	40,31	41,61
90 %	37,09	44,4	47,33	48,63

(5) Vypočítané hodnoty  $E_{med/RSRP}$  sú použité ako základ pre stanovenie limitných hodnôt úrovne intenzity ELMP pre RadioLab.

### 3.4.2 Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu v celej šírke prenášaného pásma

#### § 11

(1) Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa v celej šírke frekvenčného pásma v prípade zostupného signálu LTE sa vypočíta zo vzťahu:

$$E_{med(B)} = E_{med(RSRP)} + 10 \cdot \log(N_{nos}); [dB\mu V/m; dB\mu V/m; dB], \quad (23)$$

kde:  $E_{med(B)}$ : minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa zostupného signálu LTE so šírkou prenášaného pásma  $B$  vyjadrená v  $dB\mu V/m$ ;

$E_{med(RSRP)}$ : minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu RSRP so šírkou pásma 15 kHz vyjadrená v  $dB\mu V/m$ ;

$N_{nos}$ : počet obsadených nosných frekvencií pre šírku pásma  $B$ .

(2) Počet obsadených nosných frekvencií v závislosti od šírky pásma zostupného signálu LTE je uvedený v tab. 5.

**Tabuľka 5:** Počet obsadených nosných frekvencií v zostupnom signáli LTE so šírkou pásma  $B$

Šírka pásma $B$	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Počet obsadených nosných $N_{nos}$	72	180	300	600	900	1200
Hodnota $10 \cdot \log(N_{nos})$	18,57	22,55	24,77	27,78	29,54	30,79

(3) Vypočítané minimálne mediánové hodnoty intenzity elektromagnetického poľa zostupného signálu LTE (downlink) so šírkou prenášaného pásma 5 MHz, pre frekvencie 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz pre príjem vo vonkajšom prostredí a pre pravdepodobnosť miesta 50 % a 90 % sú uvedené v tab. 6.

**Tabuľka 6:** Vypočítané minimálne mediánové hodnoty intenzity elektromagnetického poľa zostupného signálu LTE so šírkou pásma 5 MHz pre príjem vo vonkajšom prostredí vo výške 1,5 m nad úrovňou terénu.

Pravdepodobnosť miesta	f = 800 MHz/5MHz		f = 1800 MHz/5MHz		f = 2600 MHz/5MHz		f = 2600 MHz/5MHz	
	$E_{med(B)FDD}$ [dBμV/m]		$E_{med(B)FDD}$ [dBμV/m]		$E_{med(B)FDD}$ [dBμV/m]		$E_{med(B)TDD}$ [dBμV/m]	
	B = 5 MHz	RSRP [dBm]	B = 5 MHz	RSRP [dBm]	B = 5 MHz	RSRP [dBm]	B = 5 MHz	RSRP [dBm]
50%	54,84	-105,22	62,12	-105,22	65,08	-105,22	66,38	-103,92
90 %	61,87	-98,17	69,17	-98,17	72,13	-98,17	73,43	-96,87

(4) Rovnakým spôsobom je možné vypočítať minimálne mediánové hodnoty intenzity elektromagnetického poľa zostupného signálu LTE s inou šírkou prenášaného pásma, a to pre príjem vo vonkajšom i vo vnútornom prostredí.

### 3.5 Minimálne požiadavky na úroveň signálu GSM

#### 3.5.1 Všeobecne

##### § 12

(1) Minimálnou požiadavkou pre dostupnosť služieb je dostatočná úroveň signálu (nad úrovňou šumu) v mieste jeho príjmu. Pre výpočet percentuálneho pokrytia územia, resp. obyvateľstva pomocou RadioLab sa táto úroveň špecifikuje prostredníctvom zadania hodnoty minimálnej úrovne intenzity  $E_{min}$  ELMP tohto signálu, ktorý sa preniesie cez anténu a napájač na vstup prijímača, ktorý ho dokáže správne demodulovať.

(2) Výpočet minimálnych požadovaných hodnôt parametrov signálu GSM vychádza z vlastností signálu GSM a platí pre šírku prenosového kanála  $200\text{ kHz}$  a minimálnu požadovanú rýchlosť prenosu pre hlasové telefónne služby  $12,2\text{ kbit/s}$ .

#### 3.5.2 Šumový prah

##### § 13

(1) Pre stanovenie limitných hodnôt signálu platia obdobné princípy a postupy uvedené v § 6 až 10 s tým rozdielom, že pre signál GSM sa používa konštantná šírka rádiového kanála  $200\text{ kHz}$ .

(2) Úroveň výkonu tepelných šumov na vstupe prijímača pre kmitočtovú šírku GSM kanála  $200\text{ kHz}$  je podľa vzťahu č. (5):

$$P_{s/200\text{kHz}} = -174 + 10 \cdot \log(200 \cdot 10^3) = -121 \text{ [dBm]} \quad (24)$$

(3) K úrovni výkonu tepelných šumov pre danú šírku kmitočtového pásma sa pripočíta šumové číslo prijímača  $F = 9\text{ dB}$ . Pri použití vzťahov č. (24) a (7) bude citlivosť obmedzená šumom – šumový prah:

$$P_{\text{citl-obm-sumom-gsm}} = -121 + 9 = -112 \text{ dBm} . \quad (25)$$

#### 3.5.3 Pomer výkonu signálu k výkonu šumu potrebný na demoduláciu signálu

##### § 14

(1) Minimálny pomer prijímaného užitočného výkonu signálu k výkonu šumu, ktorý je potrebný na to, aby prijímač mohol signál správne demodulovať, je odvodený z požiadavky na zabezpečenie minimálnej prenosovej rýchlosti pre koncového používateľa dátových služieb v prípade hlasových služieb GSM (pozri § 3 tohto dokumentu).

(2) V prípade GSM sa používa dvojstavová modulácia GMSK. Podľa dostupných zdrojov<sup>21)</sup> je na zabezpečenie príjmu signálu GSM pri chybovosti  $1 \cdot 10^{-4}$  potrebný minimálny odstup signálu od šumu  $S/N = 8\text{ dB}$ .

#### 3.5.4 Užitočná citlivosť prijímača

##### § 15

<sup>21)</sup> napr. Abdullah, Hikmat N.: Design of High data Rate FM-QCSK Chaotic Communication System, obr. 6

(1) Užitočná citlivosť prijímača (t. j. minimálny požadovaný výkon signálu na vstupe prijímača), po zohľadnení citlivosti obmedzenej šumom, a po zohľadnení hodnoty odstupe signálu od šumu  $S/N = 8 \text{ dB}$  dostaneme hodnotu užitočnej citlivosti prijímača, t. j. minimálnej hodnoty úrovne výkonu signálu GSM na vstupe prijímača, ktorú je prijímač schopný detekovať:

$$P_{\text{real-citl-GSM}} = -112 + 8 = -104 \text{ dBm}. \quad (26)$$

### 3.5.5 Požadovaná minimálna mediánová hodnota úrovne vstupného výkonu

#### § 16

(1) V reálnych podmienkach vzhľadom na nehomogenitu a časovú nestálosť prostredia, v ktorom sa signál GSM šíri, úroveň signálu kolíše. Hodnoty jeho výkonu by v prípade merania  $j$  hodnôt  $j \rightarrow \infty$  kopírovali normálne rozdelenie. Ak by bol teda výkon vysieláča nastavený na takú hodnotu, aby na vstupe prijímača bola požadovaná minimálna vstupná úroveň vypočítaná zo vzťahu (26), po realizácii  $j$  meraní by bol zabezpečený príjem v 50 % z nich.

(2) Pre reálne prevádzkované služby musí byť zabezpečený príjem s vyššou pravdepodobnosťou ich dostupnosti, a preto za účelom zvýšenia pravdepodobnosti príjmu je potrebné hodnotu minimálnej požadovanej vstupnej úrovne zvýšiť o lokačný korekčný faktor, ktorý je pre príjem vo vonkajšom prostredí definovaný nasledovne<sup>22)</sup>:

$$C_L = \mu \sigma_L(f); \text{ [dB; -; dB]} \quad (27)$$

kde:  $C_L$  - lokačný korekčný faktor [dB]

$\mu$  - distribučný faktor (0,524 pre 70 %; 0,674 pre 75 %; 1,282 pre 90 %; 1,645 pre 95 % a 2,327 pre 99 % miest)

$\sigma_L(f)$ : štandardná odchýlka škálovania,

pričom platí<sup>23)</sup>:

$$\sigma_L(f) = k + 1,3 \cdot \log(f); \text{ [dB; dB; -; dB]} \quad (28)$$

kde:  $k=1,2$  (v prípade mobilných systémov);

$f$ : frekvencia vyjadrená v MHz (pre pásmo 1800 MHz platí:  $f = 1800 \text{ MHz}$ ).

(3) Hodnota štandardnej odchýlky škálovania teda je:

$$\sigma_L(f) = 1,2 + 1,3 \cdot \log(1800) \approx 5,5 \text{ dB}. \quad (29)$$

(4) Vypočítané hodnoty lokačného korekčného faktoru pre signál GSM pre rôznu pravdepodobnosť miesta v prípade vonkajšieho príjmu sú uvedené v tab. 7.

**Tabuľka 7: Lokačný korekčný faktor  $C_L$  pre signál GSM v prípade vonkajšieho príjmu**

Pravdepodobnosť miesta	70 %	75 %	90 %	95 %	99 %
$C_L$ [dB]	2,88	3,71	7,05	9,05	12,8

<sup>22)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, vz. (33) str. 47 a nasl.; tab. 2 a 3.

<sup>23)</sup> ITU-R P.1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz; Annex 5, kap. 12, vz. (34) str. 47 a nasl.; tab. 2 a 3.

(5) V praxi na výpočet požadovanej minimálnej mediánovej hodnoty úrovne vstupného signálu vplýva aj priemyselný šum  $P_{s-priem}$ . V pridelenom kmitočtovom pásme pre GSM je však jeho vplyv minimálny, preto  $P_{s-priem} = 0 \text{ dB}$ .

(6) Požadovaná minimálna mediánová hodnota úrovne výkonu vstupného signálu GSM pre účely teoretického výpočtu pokrytia pomocou limitnej hodnoty intenzity ELMP pre 90 % miesta sa rovná užitočnej citlivosti prijímača zvýšenej o úroveň výkonu priemyselného šumu a o lokačný korekčný faktor podľa vzorca:

$$P_{med\ 90\%lok} = P_{real-citl-gsm} + C_L; [dBm; dBm; dB] \quad (30)$$

(7) Požadovaná minimálna mediánová hodnota úrovne výkonu vstupného signálu GSM pre pravdepodobnosť miesta 90 % je uvedená v tab. 8.

**Tabuľka 8: Minimálna mediánová hodnota úrovne výkonu vstupného signálu GSM**

Pravdepodobnosť miesta	90 %
$P_{med90\%lok}$ [dBm]	-96,95

### 3.6 Minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu GSM

#### § 17

(1) Pri uvažovaní základných parametrov prijímača popísaných vyššie, a na základe podmienok príjmu stanovených vo výzve, požadovanú minimálnu intenzitu elektromagnetického poľa potrebnú pre teoretický výpočet pokrytia pre 90 % miesta získame aplikáciou vzťahu (20). Vypočítaná úroveň limitnej hodnoty  $E_{GSM}$  ELMP GSM ( $G_i = 0 \text{ dBi}$ ) pre 50 % a 90 % času je uvedená v tab. 9.

**Tabuľka 9:** Vypočítaná minimálna mediánová hodnota intenzity elektromagnetického poľa signálu GSM pre kmitočtové pásmo 1800 MHz pre príjem vo vonkajšom prostredí vo výške 1,5 m nad úrovňou terénu.

Pravdepodobnosť miesta	$E_{med(GSM)}$ [dB $\mu$ V/m] ( $f=1800 \text{ MHz}$ )
50 %	38,57
90 %	45,62

### 3.7 Zhrnutie

#### § 18

(1) Na základe vykonaných výpočtov a analýzy pre prenosové kanály je možné konštatovať, že pre teoretické vyhodnocovanie požadovanej percentuálnej úrovne pokrytia obyvateľstva postačuje vypočítať plochu nad ktorou je intenzita ELMP väčšia alebo rovná limitnej hodnote  $E_{med}$  ELMP uvedenej v tabuľke 6 pre signály LTE a v tabuľke 9 pre signály GSM.

(2) Vzhľadom na teoretické vyhodnocovanie úrovne pokrytia výpočtom je potrebné reálne meranie prispôbiť meraniu vypočítaných veličín. Jedinou veličinou, pomocou ktorej je možné vyhodnocovať, či populačná jednotka je alebo nie je pokrytá je stanovená veľkosť úrovne intenzity ELMP.

## 4 Hlava II

### 4.1 Postup vyhodnocovania vypočítaných úrovní pokrytia pomocou RadioLab-u

#### § 19

(1) Na základe bodu 4.2.5 Výzvy na predloženie ponúk do výberového konania na vydanie IP na používanie frekvencií z frekvenčných pásiem 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz formou elektronickej aukcie sa splnenie kritérií stanovuje teoreticky na základe kalkulácii. Úrad tieto kalkulácie vykonáva prostredníctvom RadioLab-u.

(2) Popis vstupných parametrov potrebných pre vyhodnocovanie splnenia rozvojových kritérií analyzovaných v Hlave I pomocou RadioLab-u je uvedený v prílohe číslo 1.

(3) Nastavenie parametrov pre výpočet a postup výpočtu pomocou RadioLab-u je uvedený v prílohe číslo. 2.

#### § 20

(1) RadioLab vykonáva výpočet podľa medzinárodných odporúčaní ITU-R P.1546 a ITU-R P.1812. Tieto medzinárodné odporúčania vykonávajú základný výpočet pre mediánové hodnoty 50% času a 50 % miesta (lokácie). Pre presnejšie percento času a lokácie je potrebné vykonať dodatočné spresnenia formou rôznych korekčných faktorov.

(2) Na základe konzultácií k Metodickému pokynu s operátormi bolo prijaté, že výpočty budú vykonávané pre 50 % času a 90 % lokácie. Na základe tohto kritéria bolo potrebné vykonať korekciu pre výpočet pokrytia na 90 % lokácie korekčným faktorom uvedeným v § 10, § 11 a v § 17.

## 5 Hlava III

### 5.1 Vyhodnocovanie

#### § 21

(1) RadioLab na základe použitých korekčných faktorov vyhodnocuje s 90 % istotou plochu pokrytia čo predstavuje 10 % neistotou<sup>24)</sup>. Úrad v súlade s uvedenou korigovanou neistotou určenia pokrytia lokácie pri vyhodnocovaní pokrytia stanovenú neistotu pripočíta v prospech kontrolovaného a kritérium splnenia bude hodnotené podľa nasledujúceho vzťahu:

$$S_{\% \text{ pokrytia} - \text{min}} \geq S_{\% \text{ vypoč}} \cdot 0,9; [\%; \%; -], \quad (31)$$

kde:

$S_{\% \text{ pokrytia} - \text{min}}$  je minimálna vypočítaná korigovaná hodnota percenta pokrytia obyvateľstva, nutná k splneniu stanoveného rozvojového kritéria;

$S_{\% \text{ vypoč}}$  je vypočítaná hodnota pokrytia obyvateľstva RádioLab-om na základe dodaných podkladov od podniku.

(2) Hodnotené limitné úrovne pre pokrytie mobilnými komunikačnými službami prostredníctvom svojej vlastnej siete percentuálneho počtu obyvateľov SR k stanovenému termínu sú uvedené v tabuľke 10 aj s hodnotami, ktoré zohľadňujú neistoty výpočtu pokrytia pomocou

<sup>24)</sup> Somorčík, J.; Teplička, I.: Štatistika zrozumiteľne; kap. 3.3 a nasl., str. 73



RadioLab-u.

Tabuľka 10: Tabuľka stanovených hodnôt pokrytia obyvateľstva a korigovaných hodnôt o neistoty.

Termín splnenia podmienky IP	Kmitočet [MHz]					
	800		1800		2600	
	Stanovený limit v IP [%]	Korigovaný o neistoty výpočtu [%]	Stanovený limit v IP [%]	Korigovaný o neistoty výpočtu [%]	Stanovený limit v IP [%]	Korigovaný o neistoty výpočtu [%]
31.12.2015	25%	22,5%	25%	22,5%	10%	9,0%
31.12.2017	50%	45,0%	nestanovené	–	nestanovené	–
31.12.2018	70%	63,0%	50%	45,0%	25%	22,5%

(3) V prípade, že výsledné teoreticky vypočítané hodnoty, aj so započítaním neistôt v prospech podniku, budú nižšie ako je uvedené v príslušnej bunke tabuľky, bude úrad pri výkone kontroly splnenia rozvojových kritérií uvedených IP postupovať v súlade s § 38 ZEK.

## 6 Hlava IV

### 6.1 Meranie pre účely kontroly úrovne pokrytia

#### § 22

(1) Merania pre účely kontroly úrovne pokrytia úrad vykoná:

- a) v úradom vybraných populačných jednotkách z podkladov uvedených v § 2, ods. (1) tohto dokumentu v okrajových častiach deklarovanej oblasti pokrytia prislúchajúceho k základňovej stanici,
- b) v mieste, ktoré vyplýva z prijatého podnetu na rušenie prevádzky sietí, služieb a zariadení.

(2) Podmienky merania:

- (a) Meranie úrovne  $E_{med}$  ELMP signálu mobilných sietí sa vykonáva v pevných bodoch podľa výberu úradu vo vonkajších priestoroch pomocou meracieho vozidla s výškou meracej antény  $h_{mer-ant} = 3\text{ m}$  nad úrovňou terénu<sup>25)</sup>. V prípade požiadavky určenia hodnoty úrovne intenzity elektrickej zložky elektromagnetického poľa v inej výške ako  $3\text{ m}$  nad zemou, budú použité korekčné faktory uvedené v ETSI TR 102 581, V. 1. 1. 1 (2007-05), tabuľke 2.
- (b) Pri výkone meraní  $E_{med}$  ELMP signálu mobilných sietí budú primerane použité postupy podľa odporúčaní ERC/REC 74-02 a ITU-R SM.378-6.
- (c) Použitá meracia anténa bude mať definované parametre výrobcom ( $K$ -faktor,  $PSV$ , prípadne smerové charakteristiky v oboch rovinách).
- (d) Koaxiálny kábel spájajúci meráciu anténu a vstup meracieho prístroja v pásme meraných frekvencií bude mať definované tmenie  $b$ .
- (e) Merací prístroj musí umožniť merať úroveň výkonu signálu v danej šírke pásma rádiového kanálu  $a_p$ . Ak je šírka pásma merania menšia než šírka pásma meraného signálu, bude na namerané hodnoty aplikovaný korekčný faktor<sup>26)</sup> určený podľa vzorca<sup>27)</sup>:

$$c_{kor\_B} = 10 \cdot \log \left( \frac{B_{kan}}{RBW} \right); \quad [dB; Hz; Hz] \quad (32)$$

kde:

- $B_{kan}$  - šírka pásma meraného signálu v  $Hz$ ;
- $RBW$  - nastavená šírka pásma merania (nastavenia meracieho prijímača) v  $Hz$ .

(3) Pri meraní úrovne výkonu signálu  $a_{namerane}$  s menšou šírkou pásma merania sa vypočíta celková úroveň výkonu signálu nasledovne:

<sup>25)</sup> ERC/REC 01-01, ECC/REC/(11)04;

<sup>26)</sup> CEPT/ERC/REC 74-02. Annex bod 3, str. 3

<sup>27)</sup> ITU-R M.1177-4, bod 3.2.1., str. 5.

$$a_p = a_{namerané} + c; [dBm; dBm; dB] \quad (33)$$

kde:

- $a_p$  - nameraná úroveň výkonu signálu v danej šírke pásma kanálu v  $dBm$ ;
- $a_{namerané}$  - úroveň výkonu nameraná meracím prístrojom v nastavenej šírke pásma merania – RBW v  $dBm$ ;
- $c$  - vypočítaný korekčný koeficient podľa vzťahu (32).

(4) Výsledná úroveň intenzity elektrickej zložky elektromagnetického poľa sa vypočíta nasledovne:

$$E_{nam} = a_p + 107 + b + K; [dB\mu V/m; dBm; dB; dB; dB/m] \quad (34)$$

kde:

- $a_p$  – nameraná úroveň výkonu signálu v danej šírke pásma v  $dBm$ ;
- $107$  – koeficient prepočtu úrovne výkonu na úroveň napätia;
- $b$  – tlmenie koaxiálneho kábla v  $dB$ ;
- $K$  – koeficient antény v  $dB/m$ .

(5) V prípade, že pre anténu bude definovaný len zisk antény voči izotropnému žiariču, potom pomocou vzorca (21) sa vypočíta požadovaný  $K$ -faktor meracej antény pre vstupnú impedanciu antény 50 ohmov<sup>28)</sup>:

(6) Ak bude k dispozícii zisk antény voči dipólu, požadovaný  $K$ -faktor sa vypočíta podľa nasledujúceho vzťahu:

$$K = 20 \cdot \log(f) - G_d - 31,93; [dB/m; dBi; MHz; dB/m]. \quad (35)$$

kde:

- $K$  – požadovaný  $K$ -faktor v  $dB/m$ ;
  - $f$  – kmitočet v  $MHz$  na ktorom je  $K$ -faktor počítaný;
  - $G_d$  – zisk meracej antény voči dipólu v  $dB$  označované ako  $dB_d$ .
- (7) Meranie sa vykonáva v režime „Max hold“<sup>29)</sup> s RMS<sup>30)</sup> detektorom<sup>31)</sup>.

(8) V prípade merania úrovne napätia signálu bude

$$E_{namer} = u_p + b + K; [dB\mu V/m; dB\mu V; dB; dB/m] \quad (36)$$

kde:

- $u_p$  – nameraná úroveň napätia signálu v danej šírke pásma v  $dB\mu V$ ;
- $b$  – tlmenie koaxiálneho kábla v  $dB$ ;
- $K$  – koeficient antény v  $dB/m$ .

(9) Namerané výsledky sa zapíšu do protokolu o meraní podľa prílohy číslo 4 tohto dokumentu.

<sup>28)</sup> CEPT/ERC/REC 74-02 E; Annex bod 3, str. 4

<sup>29)</sup> ITU-R SM.378-7:Field-strength measurements at monitoring stations; Annex 1, bod 2.1.

<sup>30)</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Root\\_mean\\_square](http://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square) (3. 12. 2014) root mean square (abbreviated RMS or rms), also known as the quadratic mean

<sup>31)</sup> CEPT/ERC/REC 74-02 E; Annex aplikácia bodu 4.4

## 6.2 Vyhodnotenie výsledkov kontroly

### § 23

(1) V prípade kontroly spôsobom podľa § 22 ods. (1) písm. a) tohto dokumentu, ak výsledky merania úradu potvrdia výsledky kalkulácie predloženej podnikom, je percento pokrytia deklarované podnikom považované za splnené.

(2) Daná populačná jednotka sa považuje za pokrytú, ak je pokrytý geometrický stred danej populačnej jednotky úrovňou intenzity elektrickej zložky elektromagnetického poľa uvedenou v tabuľke 6 v § 11 tohto dokumentu v riadku pre 50 % miesta pre signály LTE a v tabuľke 9 pre signály GSM v riadku pre 50 % miesta.

(3) Ak k bodu zodpovedajúcemu geometrickému stredu danej populačnej jednotky nie je možný verejný prístup meracím vozidlom, a z tohto dôvodu nie je pokrytie tohto bodu kontrolovateľné, bude pre potreby kontroly pokrytia danej populačnej jednotky použitý najbližší bod s možnosťou verejného prístupu meracím vozidlom.

(4) V prípade, ak výsledok merania nepotvrdí výsledky kalkulácie predloženej podnikom vo viac ako 5 % meraní (minimálny celkový počet meraní je stanovený na 100 náhodne vybraných populačných jednotiek v území považovanom podľa kalkulácii za pokryté), bude vykonané spoločné meranie za prítomnosti zástupcu podniku - kontrolovanej osoby<sup>32)</sup> podľa § 22, ods. 1 písm. a).

(5) V prípade potvrdenia výsledkov merania vykonaného podľa predchádzajúceho bodu, úrad neuzná úroveň pokrytia deklarovanú podnikom za splnenú. Ďalej bude úrad postupovať podľa § 38 ods. 5, písm. e) a ods. 8 ZEK.

(6) V prípade merania vykonaného na základe podnetu, meranie sa vykoná vo vonkajších priestoroch v blízkosti miesta označeného podávateľom podnetu.

---

<sup>32)</sup> ZEK: § 38, ods. 6

## **7 Prechodné ustanovenia**

### **§ 22**

- (1) Metodický pokyn nemá vplyv na platné interné predpisy a smernice.

## **8 Záverečné ustanovenia**

### **§ 23**

- (1) Tento metodický pokyn nadobúda účinnosť 19. 4. 2016

## 9 Použitá literatúra

- [1] [http://www.vus.sk/iecd/new/Vyklad\\_srch.asp](http://www.vus.sk/iecd/new/Vyklad_srch.asp) : Výkladový terminologický slovník elektronických komunikácií:
- [2] Abdullah, Hikmat N.: Design of High data Rate FM-QCSK Chaotic Communication System
- [3] CEPT/ERC/REC 74-02 E: Method of measuring the field strength at fixed points in the frequency range 29,7 – 960 MHz
- [4] ETSI TR 136 931 V10
- [5] ETSI TS 136 101 V12.5.0 (2014-11): kap. 3.1, alebo napr. ETSI TS 136 211 V12.3.0 (2014-10)
- [6] ETSI TS 136 211 V12.3.0 (2014-10)
- [7] ETSI TS 136 521-1 V12.7.0 (2015-10)
- [8] Final Act of the RRC for planing... (RRC-06)
- [9] Herbert Taub, Donald L. Schilling (1986). Principles of Communication Systems. McGraw-Hill.
- [10] <http://frankrayal.com/2011/06/27/lte-peak-capacity/>
- [11] ITU-R P.1546: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz
- [12] ITU-R SM.378-6: Field-strength measurements at monitoring stations
- [13] ITU-R SM.1235: Performance functions for digital modulation systems in an interference environment
- [14] Somorčík, J.; Teplička, I.: Štatistika zrozumiteľne, ENIGMA PUBLISHING, s. r. o. 2015; ISBN 978-808133-042-1
- [15] Výzva na predloženie ponúk do výberového konania na vydanie individuálnych povolení na používanie frekvencií z frekvenčných pásiem 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz formou elektronickej aukcie
- [16] Zákon č. 351/2011 Z. z. o elektronických komunikáciách v platnom znení

## 10 Zoznam príloh

1. Popis vstupných parametrov pre výpočet v Radiolab-e
2. Postup nastavovania parametrov v Radiolab-e
3. Analýza požiadaviek na prenosovú rýchlosť v závislosti na kmitočtovej šírke kanála
4. Vzor záznamu z merania

Príloha číslo: 1  
K metod. pokynu č.: 1/2016

**Základné vstupné parametre pre výpočet pokrytia obyvateľstva mobilnými  
komunikačnými službami v RadioLab-e a ich popis**

# 1. Všeobecne

## § 1

(1) Pri výpočte pokrytia obyvateľstva mobilnými komunikačnými službami od jednotlivých podnikov (mobilných operátorov) úrad používa RadioLab.

(2) Výpočet percentuálneho pokrytia obyvateľstva mobilnými komunikačnými službami závisí od viacerých parametrov, medzi ktoré patria:

- a) počet vysielateľov (ZS),
- b) umiestnenie antény ZS,
- c) vyžiarená energia (vyžiarený výkon),
- d) parametre súvisiace s vlastnosťami vyžiarenej energie,
- e) parametre súvisiace so spôsobom predikcie pokrytia,
- f) parametre súvisiace s podmienkami príjmu,
- g) parametre prijímača – jeho limitné hodnoty potrebné pre dostatočnú demoduláciu prijímaného signálu (najmä citlivosť, šumové číslo, potrebný odstup signálu od šumu na vstupe prijímača).

### *1.1 Počet vysielateľov (ZS)*

## § 2

(1) V RadioLab sa počet vysielateľov nezadáva priamo číslom, ale je vytvorený implicitne na základe zadaných názvov vysielateľov (identifikátorov ZS), ktoré sa do programu vkladajú ako text, číslo alebo kombinácia týchto foriem. Každý sektor ZS musí mať vlastný identifikátor, ktorý sa nesmie opakovať. V prípade viacsektorových ZS je vhodné, aby bol identifikátor tvorený rovnakým základom s doplnením čísla sektoru (napr. BB01ST1, BB01ST2 a BB01ST3 – identifikátory pre tri samostatne zadané sektory jednej ZS).

### *1.2 Poloha stredu vysielacej antény ZS*

## § 3

(1) Poloha stredu vysielacej antény ZS je tvorená súborom údajov, ktoré popisujú jej umiestnenie na zemskom povrchu. Tieto údaje vychádzajú z polohy na referenčnom elipsoide (približujúcom sa k tvaru Zeme) a z nadmorskej výšky určenej digitálnym modelom terénu. Poloha je definovaná niektorým z množstva geodetických systémov (spravidla pomocou troch súradníc), pričom najrozšírenejšie sú súradnice v systéme WGS84. Pomocou systému WGS84 je možné s určitou presnosťou zadať polohu kdekoľvek na zemskom povrchu, ide teda o celosvetový súradnicový systém. Poloha stredu vysielacej antény je definovaná nasledujúcimi parametrami:

- a) zemepisná dĺžka – LON (uhlová vzdialenosť od nultého poludníka),
- b) zemepisná šírka – LAT (uhlová vzdialenosť od rovníka),



- c) výška stredu vysielacej antény nad morom.
- (2) Výšku stredu vysielacej antény nad morom je možné vyjadriť pomocou ďalších dvoch parametrov:
  - a) nadmorskej výšky terénu z DTM,
  - b) výšky antény nad terénom.

### 1.3 Vyžiarená energia (vyžiarený výkon)

#### § 4

(1) Keďže v prípade mobilných služieb ide o priestorové vyžarovanie, je potrebné definovať energiu vyžiarenú anténou do 3D priestoru. Kvantifikácia vyžiareného výkonu do priestoru sa zjednoduší jeho rozdelením do dvoch zložiek:

- a) Vyžiarený výkon do priestoru v horizontálnej rovine – popisuje schopnosť antény prenášať energiu v horizontálnej rovine v rôznych smeroch (azimutoch). Pre výpočty intenzít elektromagnetického poľa a pokrytia sa vyžiarený výkon nepopisuje spojito, ale v krokoch, napr. po  $10^\circ$ . Vyžiarený výkon v ľubovoľnom azimute sa potom vypočíta pomocou lineárnej aproximácie.
- b) Vyžiarený výkon do priestoru vo vertikálnej rovine – popisuje schopnosť antény prenášať energiu vo vertikálnej rovine v rôznych smeroch (sklonoch). Pre výpočty intenzít elektromagnetického poľa (ďalej len „ELMP“) a pokrytia sa vyžiarený výkon nepopisuje spojito, ale v krokoch, napr. po  $10^\circ$ . Vyžiarený výkon pre ľubovoľný sklon (elevačný uhol) sa potom vypočíta pomocou lineárnej aproximácie.

(2) Vyžiarený výkon sa vo všeobecnosti definuje parametrami uvedenými v dohode HCM. V RadioLab-e sa vyžiarený výkon anténou do priestoru zadáva v relatívnych hodnotách (vzťahnutý k maximálnemu vyžiarenému výkonu v smere hlavného laloku horizontálneho, resp. vertikálneho vyžarovacieho diagramu) pomocou týchto parametrov:

- a) horizontálny a vertikálny vyžarovací diagram antény,
  - b) maximálny vyžiarený výkon – vzťahnutý k polovlnovému dipólu ( $ERP_{max}$ ) alebo k izotropnému žiaricu ( $EIRP_{max}$ ),
  - c) azimut hlavného smeru žiarenia,
  - d) elevácia (náklon antény voči vodorovnej rovine).
- (3) Maximálny vyžiarený výkon sa vypočíta z týchto parametrov:
- a) zisk antény – vzťahnutý k polovlnovému dipólu ( $G_d$ ) alebo k izotropnému žiaricu ( $G_i$ ),
  - b) tlmenie napájača antény,
  - c) výstupný výkon koncového stupňa vysielача – vyjadrený absolútnou hodnotou spolu so šírkou frekvenčného pásma alebo výkonovou hustotou.

## **1.4 Parametre súvisiace s vlastnosťami vyžiarenej energie**

### **§ 5**

(1) Keďže voľný priestor nie je možné multiplikovať (na rozdiel od metalických a optických vlákien), služby ním prenášané je možné oddeliť len priestorovo, skremblováním (CDMA), časovo alebo frekvenčne. Prvé tri možnosti sú technicky obmedzené, preto sa v prevažnej miere používa frekvenčné oddelenie prenášaných služieb.

(2) Frekvenčné oddelenie sa realizuje pomocou využitia vlastností filtrov a modulátorov. Dáta jednotlivých služieb sa navzájom posunú v rámci frekvenčného spektra, pomocou antény sa vyšlú do priestoru, ktorým sa prenesú na prijímaciu anténu a následne vyselektujú na prijímači bez toho, aby sa jednotlivé služby výrazne vzájomne ovplyvňovali.

(3) Parametre popisujúce vyššie uvedené vlastnosti vyžiarenej energie sú nasledovné:

- a) šírka prenášaného pásma – je daná minimálnou a maximálnou vysielacou frekvenciou, ktorá sa podieľa na prenose danej služby. Úroveň signálu v tomto pásme musí byť dostatočná, aby bolo možné službu demodulovať;
- b) vysielacia frekvencia – ide o frekvenciu nosnej vlny (spravidla dominantná zložka v prenášanom pásme), alebo o strednú frekvenciu prenášaného pásma (aritmetický priemer minimálnej a maximálnej prenášanej vysielacej frekvencie);
- c) polarizácia – udáva orientáciu elektrickej zložky elektromagnetického poľa.

## **1.5 Parametre súvisiace so spôsobom predikcie pokrytia**

### **§ 6**

(1) Parametre súvisiace so spôsobom predikcie pokrytia sú nasledovné:

- a) minimálna intenzita ELMP pre príjem – úroveň signálu v prenášanom pásme, ktorá je dostatočná na to, aby bolo možné službu detekovať. Tento parameter je možné stanoviť výpočtom na základe znalosti podmienok príjmu, parametrov prijímača a vlastností modulácie (pre signál LTE pozri § 6 až § 11 Metodického pokynu na vyhodnocovanie ..., pre signál GSM § 12 až § 17) alebo na základe merania (štatistické vyhodnocovanie na základe väčšieho počtu meraní na viacerých druhoch prijímačov);
- b) model šírenia – pozri ods. (2) tejto časti dokumentu;
- c) krivky šírenia – pozri ods. (3) tejto časti dokumentu;
- d) výška prijímacej antény – výška nad terénom, v ktorej je výpočet intenzity elektromagnetického poľa vykonaný – pozri ods. (4) tejto časti dokumentu;
- e) digitálny model terénu – pozri ods. (5) a ods. (6) tejto časti dokumentu;
- f) digitálny model morfológie – pozri ods. (7) tejto časti dokumentu;
- g) plošné rozloženie hustoty obyvateľstva – pozri ods. (8) tejto časti dokumentu;

(2) V súčasnosti existuje viacero predikčných modelov šírenia pre výpočet intenzity ELMP, ktoré sa odlišujú hlavne algoritmami výpočtu a použitými korekciami. Úrad stanovuje, že pri

výpočte pokrytia obyvateľstva mobilnými komunikačnými službami sa musí použiť model šírenia definovaný v odporúčaniach ITU-R P.1546 a v **ITU-R P.1812-3 (mobile)**. Základná charakteristika ITU modelu šírenia je nasledovná:

### **Odporúčanie ITU-R P.1812**

Model ITU-R P.1812 je založený na výpočtových algoritmoch medzi vysielačom a prijímačom. Výpočty sú relatívne presné, ale časovo veľmi náročné.

Odporúčanie popisuje metódu predikcie šírenia rádiových vln z bodu do oblasti (point-to-area) pre pozemské služby vo frekvenčnom rozsahu od 30 MHz do 3 GHz. Predpovedá mediánové úrovne signálu pre viaccestné šírenie a pre určené percento času  $p$  v rozmedzí 1 % až 50 % a pre určené percento miesta  $p_L$  v rozmedzí 1 % až 99 %.

Metóda poskytuje podrobnú analýzu založenú na profile terénu. Je vhodná na predikciu pre rádiokomunikačné systémy používajúce pozemské šírenie, ktorých dĺžka je od 0,25 km do 3000 km s oboma terminálmi (vysielač - prijímač) do výšky približne 3 km nad zemou. Odporúčanie nie je vhodné na predikcie šírenia signálu typu vzduch-zem alebo vesmír-zem.

Model šírenia tejto metódy je symetrický, založený na výpočte základného tlmenia na prenosovej ceste v dB, pričom zahŕňa do úvahy všetky algoritmy šírenia (difrakciu, troposferický rozptyl, ducting and layer reflection) a vlastnosti terénu v mieste prijímača/vysielača (straty spôsobené prekážkami v okolí prijímača/vysielača, variabilita umiestnenia, tlmenie budov, vnútorný príjem a morfológia). Parametre variability umiestnenia a vstupného tlmenia budov sú následne charakterizované štatisticky vzhľadom na umiestnenie prijímača. Na základe toho je výsledok procedúry konvertovaný na intenzitu elektrického poľa [dB $\mu$ V/m] pre efektívny vyžiarovaný výkon 1 kW.

(3) Krivky šírenia – udávajú štatistické vlastnosti vypočítanej hodnoty intenzity ELMP a pravdepodobnosti príjmu v mieste a čase. Pravdepodobnosť príjmu v mieste sa vypočítava vždy pre hodnotu 50 % a pre iné hodnoty pravdepodobnosti sa koriguje pomocou úrovne minimálnej intenzity elektromagnetického poľa pre príjem. Pravdepodobnosť príjmu v čase je pre užitočné signály počítaná taktiež pre hodnotu 50 %.

(4) Výška prijímacej antény – v prípade použitia mobilnej služby je potrebné zabezpečiť vo výške 1,5 m dostatočnú úroveň signálu pre príjem. Je možné postupovať dvoma spôsobmi:

- a) vykonať výpočet pokrytia pre štandardnú výšku 10 m a použiť korekciu pomocou strednej hodnoty tlmenia z 10 m na 1,5 m pre výpočet minimálnej intenzity ELMP,
- b) vykonať výpočet priamo pre výšku 1,5 m.

(5) Pri výpočte sa preferuje druhý spôsob (výpočet priamo pre výšku 1,5 m nad zemou), a to z dôvodu eliminácie lokálnych chýb spôsobených strednou hodnotou korekcie z 10 m na 1,5 m.

(6) Digitálny model terénu – výpočty/predikcia úrovne signálu šíreného z vysielača k prijímacej anténe sú vykonávané nad digitálnym modelom terénu, ktorý výrazne ovplyvňuje výslednú hodnotu úrovne signálu. Digitálny model terénu popisuje výšku zemského povrchu vzhľadom na úroveň mora. Presnosť digitálneho modelu terénu je závislá okrem metódy jeho spracovania od ďalších dvoch základných parametrov:

- a) delenie územia na elementárne časti (grid) – pre lokálne oblasti na zemskom povrchu je delenie územia spravidla lineárne a vytvára mriežku s daným krokom v určenom súradnicovom systéme. Každý štvorec mriežky je popísaný nadmorskou výškou;
- b) gradient nadmorskej výšky – najmenšia zmena hodnoty nadmorskej výšky, ktorú je možné rozlíšiť.

(7) V RadioLab-e sú zapracované tri druhy presnosti digitálnych modelov:

- a) DEM 30s EU RadioLab4 (GTopo30) – presnosť modelu je 30 s, čo zodpovedá v našich zemepisných podmienkach približne 600 m x 900 m, gradient nadmorskej výšky 1 m, tento digitálny model terénu popisuje Európu a jej blízke okolie,
- b) DEM Topo EU 3 – presnosť modelu je 3 s, čo zodpovedá v našich zemepisných podmienkach približne 60 m x 90 m, gradient nadmorskej výšky 1 m, tento digitálny model terénu popisuje strednú Európu,
- c) DEM 2s SVK RadioLab – presnosť modelu je 2 s, čo zodpovedá v našich zemepisných podmienkach približne 40 m x 60 m, gradient nadmorskej výšky 1 m, tento digitálny model terénu popisuje SR a okolie do cca 50 km.

(8) Za účelom eliminácie nedostatočnej presnosti digitálneho modelu terénu sú v RadioLab-e zapracované na spresnenie ďalšie dodatočné metódy výpočtu nadmorskej výšky (bilineárna, trojuholníková, spline 4x4 a spline 6x6).

(9) Digitálny model morfológie popisuje objekty nachádzajúce sa na zemskom povrchu a ich vlastnosti. Dáta morfológie (lesy, obývané oblasti atď.) sa pričítajú k nadmorskej výške z digitálneho modelu terénu a spolu s ním ovplyvňujú výslednú hodnotu úrovne signálu. V RadioLab-e je implementovaný digitálny model morfológie s presnosťou 2 sekundy, čo zodpovedá v našich zemepisných podmienkach približne 40 m x 60 m. Tento model obsahuje šesť kategórií, pre ktoré je možné editovať výšku a farbu pre zobrazenie.

(10) Plošné rozloženie hustoty obyvateľstva je parameter, ktorý je potrebný pre výpočet pokrytia obyvateľov SR. Za týmto účelom bola v spolupráci so Štatistickým úradom SR a dodávateľom RadioLab-u vytvorená mriežka hustoty obyvateľstva v rasti 100 m x 100 m vo formáte WGS84/UTM v páse 34N, ktorá bola zapracovaná do RadioLab-u.

## **2. Postup zadania vstupných parametrov a postup pri výpočte pokrytia pomocou softvéru RadioLab**

### **§ 7**

(1) Pre výpočet výslednej teoretickej úrovne pokrytia pomocou RadioLab-u je nutné zadať nasledujúce typy vstupných parametrov:

- a) vstupné parametre vysieláčov (ZS),
- b) vstupné podklady pre výpočet,
- c) vstupné parametre pre výpočet.

(2) Vstupné parametre vysieláčov ZS sú úradu dodávané v elektronickej forme na základe podmienky v IP alebo na základe vyžiadania úradom v rámci výkonu kontroly plnenia podmienok IP. Ak dodané údaje nie sú vo formáte xls, je potrebné vykonať ich prevod do formátu xls so štruktúrou uvedenou nižšie. Na import uvedených údajov je vytvorená šablóna vo formáte xls (pozri § 8). Dodané údaje, s týmito informáciami o parametroch vysieláčov je potrebné uvádzať v rozsahu a formáte uvedenom v § 8, ods. 2:

- a) Pri výpočte pokrytia obyvateľstva pomocou RadioLab-u sa musia nastaviť odkazy na nasledujúce vstupné podklady pre výpočet:
  - i. digitálny model terénu,

- ii. digitálny model morfológie,
- iii. plošné rozloženie hustoty obyvateľstva – údaje o plošnom rozložení hustoty obyvateľstva vzťahnuté na mriežku 100 x 100 m úrad poskytne podnikom.

(3) Do RadioLab-u sa pre výpočet pokrytia obyvateľstva zadajú tieto vstupné parametre:

- a) minimálna intenzita ELMP, (vyberie sa príslušná hodnota z tab. 6 Metodického pokynu pre 90 % miesta pre signál LTE, resp. z tab. 9 Metodického pokynu pre 90 % miesta pre signál GSM);
- b) model šírenia – ITU-R P.1812-3 (mobile);
- c) krivky šírenia 50/50;
- d) výška prijímacej antény 1,5 m;
- e) krok výpočtu 100 m.

### 3. Štruktúra šablóny \*.xls pre import základňových staníc podnikov do databázy RadioLab-u (TxBase)

#### § 8

(1) Pre import základňových staníc podnikov do RadioLab-u je vytvorená šablóna vo formáte xls, ktorú je možné priamo importovať do modulu „TxBase“.

(2) Záhlavie šablóny obsahuje nasledujúce údaje sú uvedené v ďalšom texte tohto ods. v zátvorke:

	Poradové číslo položky podľa IP	Označenie položky	Odporúčaný formát údajov
a)	1.	Poradové číslo	číselný formát – poradové číslo záznamu.
b)	2.	Označovanie ZS	(každý sektor v samostatnom riadku) - textový formát – názov / identifikátor základňovej stanice obsahujúci identifikáciu sektorov, unikátny identifikátor, max. 32 znakov, kódovanie Windows CP 1250.
c)	3.	Adresa základňovej stanice	- textový formát - Adresa stanovišťa, max. 255 znakov.
d)	4.	Súradnice LON	Textový formát - zem. dĺžka vo WGS 84, formát XX YY ZZ (stupne minúty sekundy), hodnota sekúnd môže byť desatinná (optimálne 2 des. miesta), desatinný oddeľovač bodka alebo čiarka. Je možné zadať i desatinnú hodnotu v stupňoch.
e)	5.	Súradnice LAT	Textový formát - zem. šírka vo WGS 84, formát XX YY ZZ (stupne minúty sekundy), hodnota sekúnd

Poradové číslo položky podľa IP	Označenie položky	Odporúčaný formát údajov
		môže byť desatinná (optimálne 2 des. miesta), desatinný oddeľovač bodka alebo čiarka. Je možné zadať i desatinnú hodnotu v stupňoch.
f)	6. Nadmorská výška základňovej stanice - ASL	Číselný formát - výška päty anténového stožiaru nad morom v metroch.
g)	7. Typ antény – H diagram	H-HCM - textový formát - horizontálny anténový diagram podľa HCM.
h)	8. Typ antény – V diagram	V-HCM - textový formát - vertikálny anténový diagram podľa HCM.
i)	9. Výška antény nad terénom	AGL - číselný formát - výška stredu antény nad zemou v metroch.
j)	10. Azimut sektora	Číselný formát - azimut hlavného smeru žiarenia antény v stupňoch (0 - sever, 180 - juh).
k)	11. Uhol elevácie	Číselný formát - elevačný uhol antény v stupňoch.
l)	12. Maximálny vyžiarený výkon pre sektor	<i>EIRP</i> - číselný formát - v prípade signálu LTE vyžiarený výkon <i>EIRP</i> jednej antény (pre mód SISO) <sup>1)</sup> prepočítaný na 5 MHz pásmo a jednu polarizáciu, v prípade signálu GSM vyžiarený výkon <i>EIRP</i> v kanáli so šírkou 200 kHz pre jednu polarizáciu. <i>EIRP</i> je potrebné zadať vo wattoch ( <i>W</i> ), kilowattoch ( <i>kW</i> ) alebo decibeloch nad jedným wattom ( <i>dBW</i> ) – formát skutočnej jednotky je potrebné nastaviť v treťom riadku šablóny a musí byť jednotný pre celý importovaný súbor.
m)	13. Dátum uvedenia základňovej stanice do prevádzky	Switch ON - dátumový formát - dátum uvedenia základňovej stanice do prevádzky.
n)	14. Frekvencie vysielateľa	Frequency - číselný formát - stredná hodnota vysielacej frekvencie sektora základňovej stanice, udáva sa v MHz.

(3) Vyplnenú šablónu so skutočnými (t. j. prevádzkovanými) hodnotami parametrov jednotlivých sektorov základňových staníc predloží podnik úradu v termínoch stanovených v individuálnych povoleniach.

<sup>1)</sup> v prípade použitia módu MIMO je potrebné hodnotu výkonu prepočítať na jednu anténu

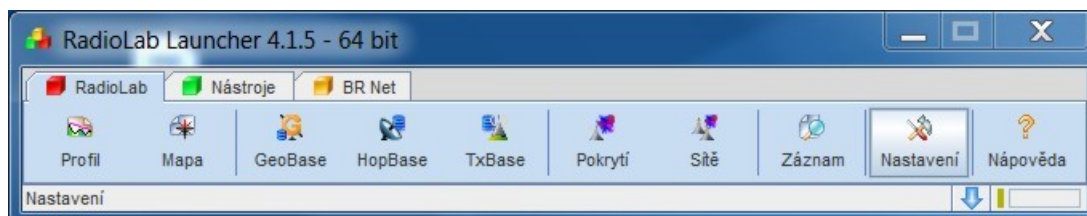
Príloha číslo: 2  
K metod. pokynu č.: 1/2016

**Postup výpočtu pokrytia obyvateľstva signálom sietí používajúcich frekvencie  
pridelené podnikom vo výberovom konaní pomocou RadioLab-u**

# 1. Základné nastavenie RadioLab-u

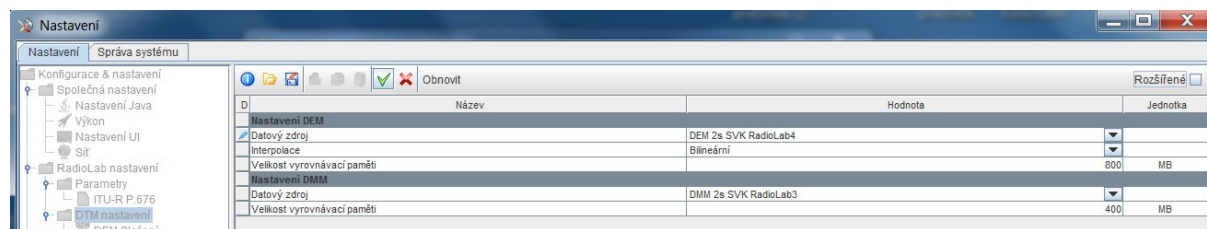
## § 1

(1) Potrebné základné nastavenie sa vykoná v dialógovom okne „Nastavení“ otvorenom zo základného okna RadioLab-u, na záložke „RadioLab“, pomocou tlačidla „Nastavení“ (Obr. 1).



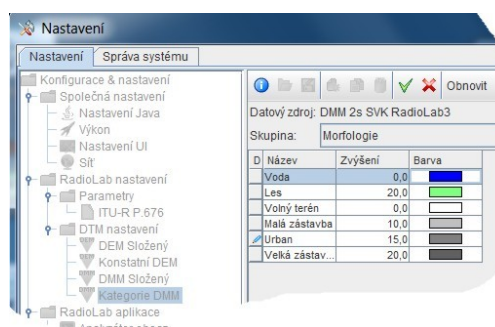
Obr. 1: Základné okno RadioLab-u / otvorenie dialógového okna „Nastavení“

(2) Po otvorení dialógového okna „Nastavení“ sa vyberie na záložke „Nastavení“ v stromovej štruktúre nachádzajúcej sa v ľavej časti okna položka: „DTM nastavení“ (RadioLab nastavení/DTM nastavení). V pravej časti dialógového okna sa nastaví „Dátový zdroj“ pre DEM a DMM. Je potrebné nastaviť najpodrobnejší zdroj DEM (DEM 2s SVK RadiLab4) a DMM (DMM 2s SVK RadiLab3). Parameter „Interpolace“ pre DEM sa nastaví na „Bilineární“ (Obr. 2).



Obr. 2: Dialógové okno „Nastavení“ / nastavenie DTM a DMM

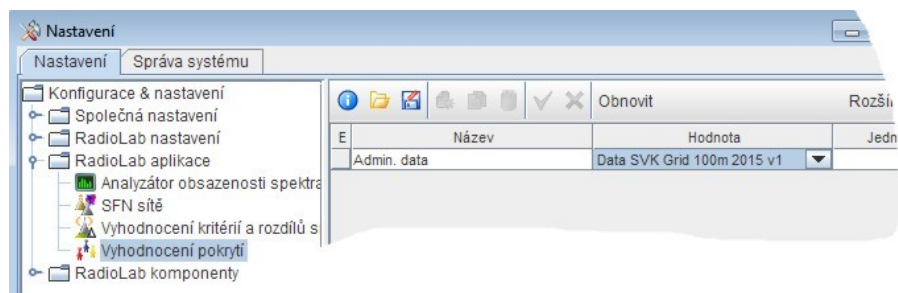
(3) Položka „Kategorie DMM“ (RadioLab nastavení/DTM nastavení/Kategorie DMM): V pravej časti dialógového okna sa nastaví parameter „Zvýšení“ pre jednotlivé kategórie morfológie podľa Obr. 3 v zhode s ITU-R P.1812.



Obr. 3: Dialógové okno „Nastavení“ / nastavenie zvýšenia kategórií morfológie

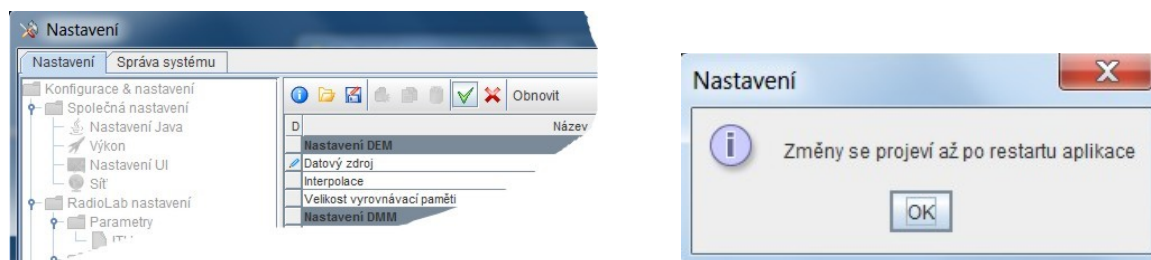
(4) Položka „Vyhodnocení pokrytí“ (RadioLab aplikace/Vyhodnocení pokrytí): V pravej časti dialógového okna sa nastaví odkaz na súbor s mriežkou 100x100 m s prislúchajúcim počtom obyvateľov (Obr. 4).





**Obr. 4: Dialógové okno „Nastavení“ / nastavenie odkazu na súbor s plošným rozdelením hustoty obyvateľstva SR v mriežke 100x100 m**

(5) Po vykonaní nastavení uvedených v ods. (1) až (4) tohto § je potrebné vykonať potvrdenie zmien a úplné zatvorenie aplikácie RadioLab-u (Obr. 5).



**Obr. 5: Dialógové okno „Nastavení“ / uloženie nastavení a ukončenie aplikácie RadioLab**

## 2. Štruktúra šablóny \*.xls pre import základňových staníc podnikov do databázy RadioLab-u (TxBase)

### § 2

(1) Pre import základňových staníc podnikov do RadioLab-u úrad vytvoril šablónu vo formáte \*.xls, ktorú je možné priamo importovať do modulu „TxBase“.

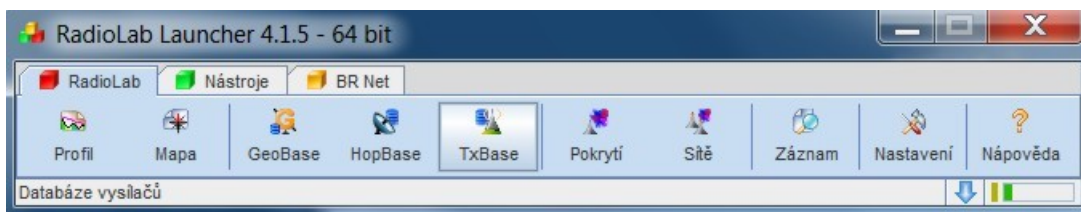
(2) Záhlavie šablóny obsahuje povinné a nepovinné údaje popísané v prílohe číslo 1.

(3) Vyplnenú šablónu so skutočnými (t.j. prevádzkovanými) hodnotami parametrov jednotlivých sektorov základňových staníc predloží podnik úradu v termínoch stanovených v individuálnych povoleniach. S uvedenými parametrami v šablóne podnik vykoná vlastné simulačné kalkulácie pokrytia obyvateľstva a výsledky simulácií dodá úradu vo formáte stanovenom v § 8 prílohy číslo 1 k metodickému pokynu.

## 3. Import vysielateľov podnikov do databázy TxBase

### § 3

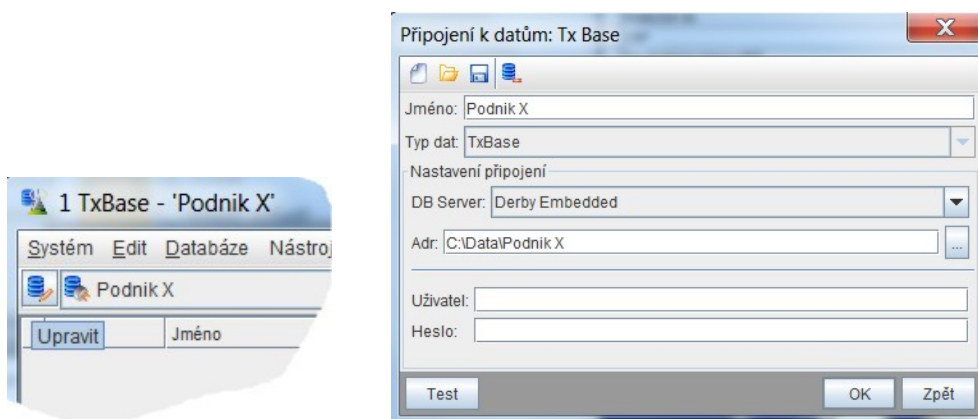
(1) Modul „TxBase“ je databázová aplikácia slúžiaca na správu dát stanovišť a vysielateľov. Modul „TxBase“ sa otvára zo základného okna RadioLab-u na záložke „RadioLab“ pomocou tlačidla „TxBase“ (Obr. 6).



Obr. 6: Základné okno RadioLab-u / otvorenie modulu „TxBase“

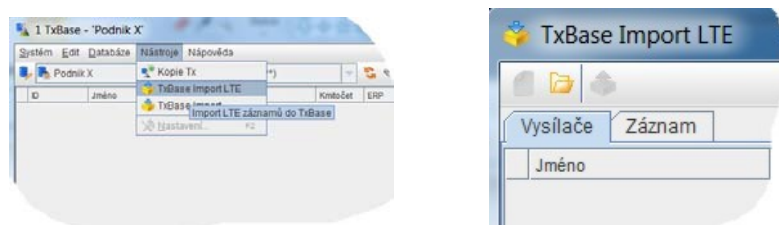
(2) Dáta vysílačov dodané podnikmi sa nachádzajú v predpísanom formáte v súbore xls. Označenie súborov musí obsahovať podnik, službu s frekvenčným pásmom a dátum, prípadne ďalšie rozlišovacie znaky (napr. Podnik1\_LTE800\_20151123\_XXX.xls). Rovnaké označenie sa použije i vnútri tohto súboru pre import v bunke D2 (stĺpec „Group“). Na základe tohto označenia je možná budúca filtrácia vysílačov podnikov a služieb v databáze. Toto označenie sady vysílačov sa použije i v prípade, ak bude import každého samostatného súboru (jeden podnik, jedna služba a jeden dátum) vykonaný vždy do novej databázy.

(3) Po spustení modulu „TxBase“ a pred samotným importom sa musí overiť, resp. nastaviť cesta k existujúcej databáze, do ktorej sa má importovať nová sada vysílačov. V prípade, že ide o prvý import, musí sa založiť nová databáza, alebo vyčistiť existujúca. Nastavenia sa vykonávajú pomocou tlačidla „Upraviť“ na paneli nástrojov modulu „TxBase“ (Obr. 7).



Obr. 7: Modul „TxBase“ / nastavenie východzej databázy pre import

(4) Dialógové okno pre import vysílačov podnikov sa otvorí z ponuky hlavného menu „Nástroje/TxBase Import LTE“. Po kliknutí na tlačidlo „otvoriť“ na paneli nástrojov dialógového okna „TxBase Import LTE“ (Obr. 8) je možnosť prechádzať adresárovú štruktúru a zvoliť súbor pre import (\*.xls).



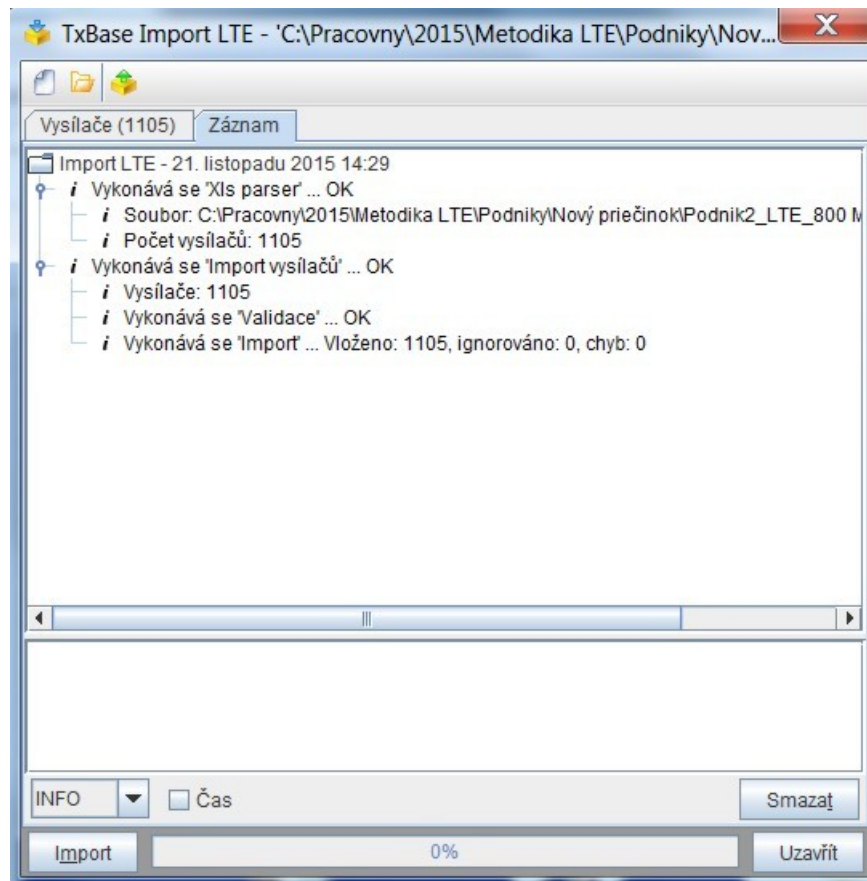
Obr. 8: Modul „TxBase“ / spustenie dialógu pre import a načítanie importovaného súboru

(5) Po zvolení súboru pre import sa zobrazí v záložke „Vysílače“ zoznam vysílačov a k názvu záložky sa pripojí aktuálny počet načítaných vysílačov. Po kliknutí na tlačidlo „import“ sa importujú vysílače do „TxBase“.

(6) Po dokončení importu sa musí skontrolovať záložka „Záznam“ a počet importovaných

vysielačov (Obr. 9). Pokiaľ v priebehu importu nastala chyba (nesprávnosť údajov, duplicita a iné), úrad v spolupráci s podnikom odstráni chybu v súbore pre import (\*.xls), vymaže celú sadu importovaných vysielačov, pri ktorých nastala chyba a zopakuje import od odseku 4 tohto paragrafu.

(7) Po úspešnom importe sa zatvorí dialógové okno pre import pomocou tlačidla „Uzavrieť“, alebo sa pokračuje v importe zvyšných vysielačov podnikov, ak bude import vykonaný do rovnakej databázy.



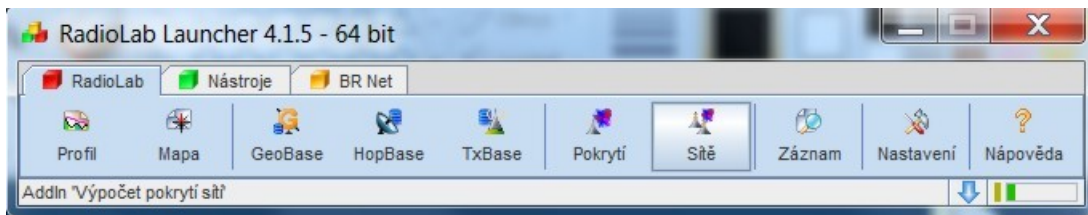
Obr. 9: Modul „TxBase“ / kontrola vzniknutých chýb pri importe

(8) Po ukončení importu je možné pokračovať od ods. 3 nasledujúceho paragrafu alebo ukončiť modul „TxBase a pokračovať nasledujúcim paragrafom.

### Výpočet diagramov pokrytia službami podnikov

#### § 4

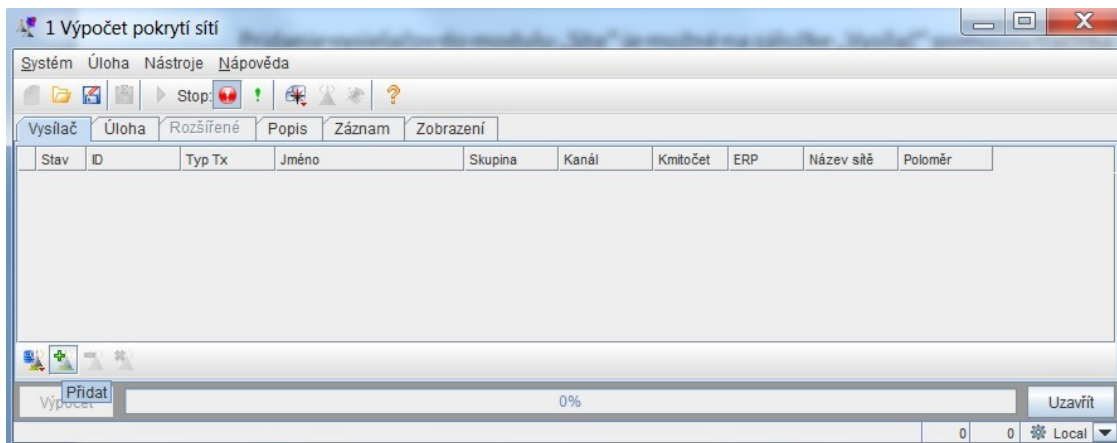
(1) Modul „Výpočet pokrytí sítí“ umožňuje vykonávať výpočty plošného rozloženia intenzity elektromagnetického poľa pre zadanú sieť vysielačov (diagramy pokrytia vysielačov). Modul „Výpočet pokrytí sítí“ sa otvára zo základného okna RadioLab-u na záložke „RadioLab“ pomocou tlačidla „Sítě“ (Obr. 10), alebo priamo z modulu „TxBase“ (Obr. 11 a Obr. 12).



Obr. 10: Základné okno RadioLab-u / otvorenie modulu „Výpočet pokrytí sítí“

(2) Pridanie vysieláčov do modulu „Výpočet pokrytí sítí“ sa vykonáva na záložke „Vysílač“ pomocou tlačidla „Přidat“ v ľavom dolnom rohu, ktoré otvorí modul „TxBase“ (Obr. 11).

(3) Nastavením potrebných parametrov pre filtrovanie na záložke „Filtr“ v pravej časti modulu „TxBase“ a aktiváciou príslušného tlačidla „Filtr“ z panela nástrojov modulu „TxBase“ sa zobrazia len vysieláče spĺňajúce nastavené podmienky na záložke „Filtr“ (Obr. 12). Po výbere požadovaných vysieláčov štandardným spôsobom (kliknutím myšou na prvý vysieláč a následne posledný pri súčasnom držaní klávesy „Shift“, alebo postupným pridávaním klikaním myšou na jednotlivé vysieláče pri súčasnom držaní klávesy „Ctrl“, alebo stlačením kombinácie kláves „Ctrl+A“ pre výber všetkých zobrazených) sa tieto vysieláče prenású do modulu „Výpočet pokrytí sítí“ pomocou jedného z týchto spôsobov:



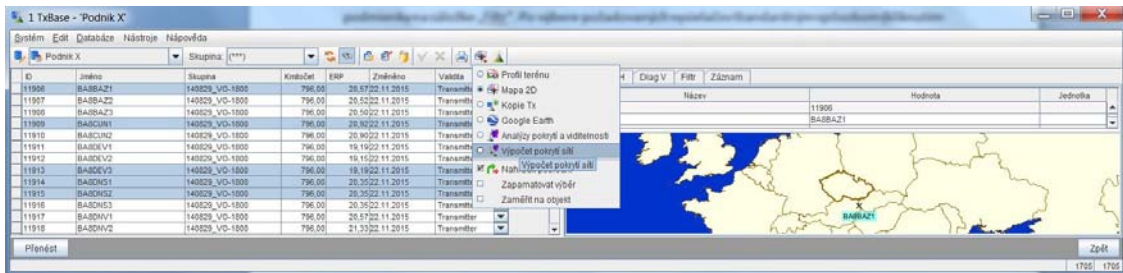
Obr. 11: Modul „Výpočet pokrytí sítí“ / pridanie vysieláčov do „TxBase“



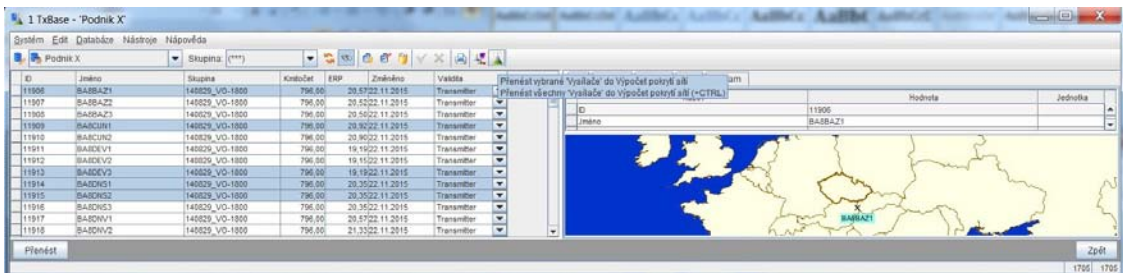
Obr. 12: Modul „TxBase“ / filtrácia a výber vysieláčov do výpočtu pomocou tlačidla „Přenést“

- tlačidlom „Přenést“ v ľavom dolnom rohu modulu „TxBase“, ak bol tento modul otvorený z modulu „Výpočet pokrytí sítí“ pomocou tlačidla „Přidat“, alebo
- kliknutím pravým tlačidlom myši na tlačidlo z panela nástrojov modulu „TxBase“, ktoré nastavuje modul pre prenos výsledkov výpočtov, následným zaškrtnutím voľby „Výpočet pokrytí sítí“ a následným stlačením tlačidla „Přenést vybrané Vysílače do Výpočet pokrytí sítí“ z panela nástrojov modulu „TxBase“ (Obr. 13, Obr. 14).



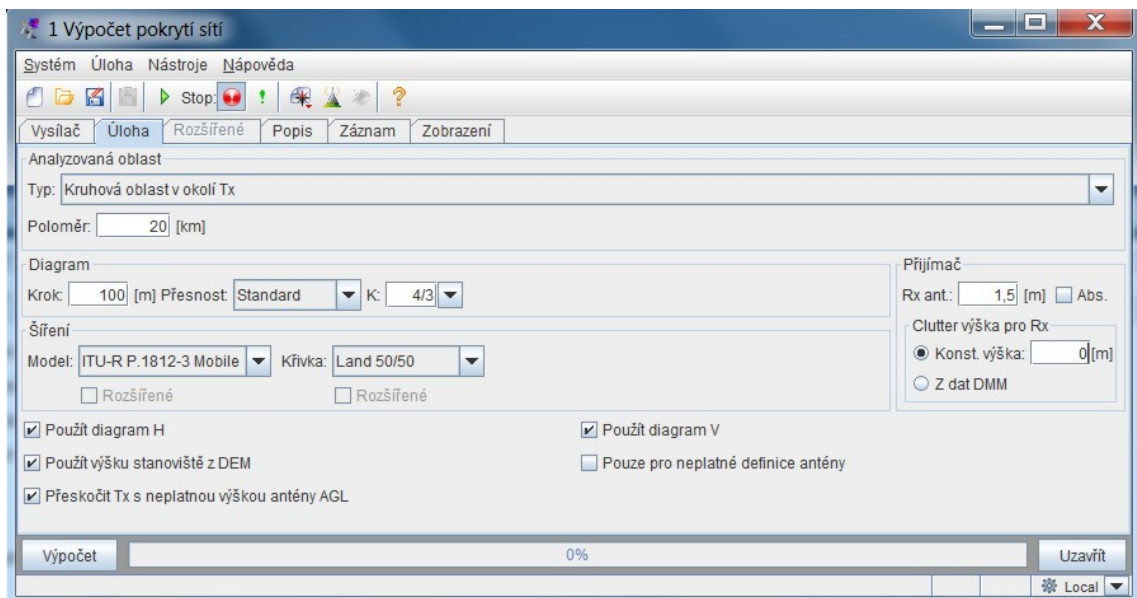


Obr. 13: Modul „TxBase“ / filtrácia, výber a nastavenie cieľa pre presun vysielateľov



Obr. 14: Modul „TxBase“ / presun vybraných vysielateľov do výpočtu

(4) Po presunutí vysielateľov do modulu „Výpočet pokrytí sítí“ sa zobrazí zoznam presunutých vysielateľov na záložke „Vysílač“, pričom pri všetkých vysielateľoch v stĺpci „Stav“ je symbol vysielateľa. Na záložke „Úloha“ modulu „Výpočet pokrytí sítí“ sa nastavujú potrebné parametre podľa Obr. 15 (zvolené nastavenie výpočtu ITU-R P.1812-3 (mobile) nastavuje nulové korekcie typu „indoor“ a „building entry losses“, automatická voľba korekcií „location variability of losses“) a tlačidlom „Výpočet“ v ľavom dolnom rohu modulu „Výpočet pokrytí sítí“ sa spustí výpočet diagramov pokrytia vysielateľov siete.



Obr. 15: Modul „Výpočet pokrytí sítí“ / stanovené parametre pre výpočet diagramov pokrytia vysielateľov

(5) Po začatí výpočtu sa musí skontrolovať záložka „Záznam“, či neboli zistené chyby spôsobené nesprávnymi parametrami vysielateľov. Chyby vypísané zelenou farbou (nie zásadného charakteru) sa môžu ignorovať a ďalej pokračovať vo výpočte.

(6) V prípade, ak budú zistené niektoré zo zásadných chýb (vypísané červenou farbou), úrad

ich v spolupráci s podnikom opraví v importnom súbore \*.xls. Následne sa musí postupovať od § 3 odsek 4.

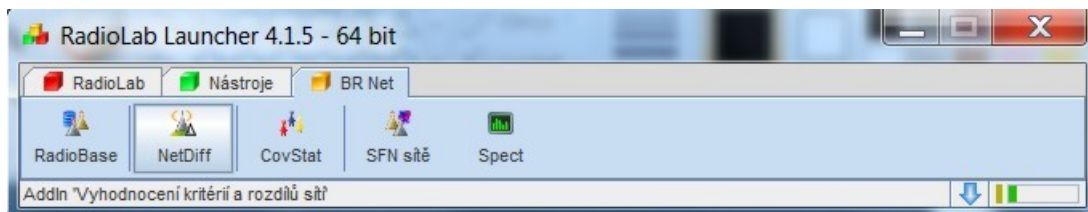
(7) Po ukončení bezchybného výpočtu diagramov pokrytia vysielateľov sú na záložke „Vysílač“ v stĺpci „Stav“ pri každom vysielateľi symboly signalizujúce bezchybný výpočet pokrytia (je možné i vzostupne a zostupne zoradenie podľa stĺpca „Stav“).

(8) Vypočítané diagramy pokrytia vysielateľov je možné uložiť na disk pre ďalšie použitie pomocou tlačidla „Uložiť výsledok“ na paneli nástrojov a/alebo preniesť do modulu „Vyhodnotení kritérií a rozdielů sítí“ podľa paragrafu § 5 odst. 2 písm. b).

## 4. Výpočet pokrytia územia službami podnikov

### § 5

(1) Výpočet pokrytia územia (rastru) službami podnikov sa vykoná prostredníctvom modulu „Vyhodnotení kritérií a rozdielů sítí“, ktorý umožňuje vykonávať rastrové výpočty plošného rozloženia intenzity elektromagnetického poľa. Modul „Vyhodnotení kritérií a rozdielů sítí“ sa otvára zo základného okna RadioLab-u, na záložke „BR Net“ pomocou tlačidla „NetDif“ alebo priamo z modulu „Výpočet pokrytí sítí“.



Obr. 16: Základné okno RadioLab-u / otvorenie modulu „Vyhodnocení kritérií a rozdielů sítí“

(2) Pridanie diagramov pokrytia vysielateľov do modulu „Vyhodnotení kritérií a rozdielů sítí“ je možné:

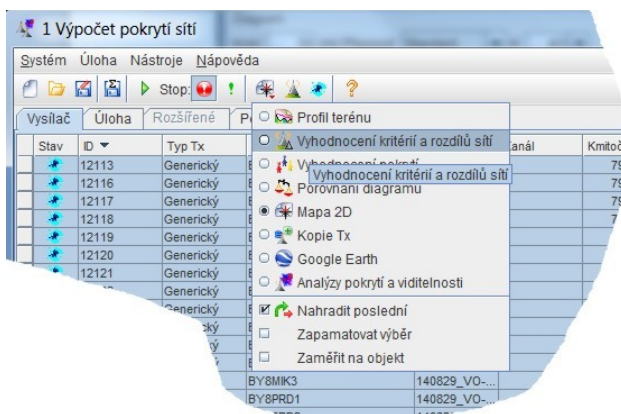
- a) z uložených súborov pomocou tlačidla „Otvoriť“ z panela nástrojov modulu „Vyhodnotení kritérií a rozdielů sítí“ v ľavom hornom rohu, ktoré otvorí dialógové okno pre otváranie uložených súborov s diagramami pokrytia vysielateľov (diagramy pokrytia vysielateľov majú koncovku .dpd), alebo



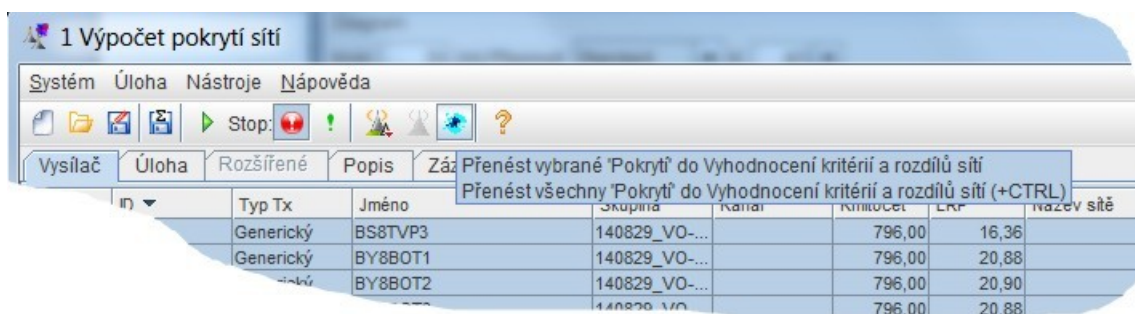
Obr. 17: Modul „Vyhodnocení kritérií a rozdielů sítí“/ načítanie vypočítaných diagramov pokrytia z disku

- b) výberom vypočítaných diagramov pokrytia vysielateľov v module „Výpočet pokrytí sítí“ štandardným spôsobom (kliknutím myšou na prvý diagram pokrytia a následne posledný pri súčasnom držaní klávesy „Shift“, alebo postupným pridávaním klikaním myšou na jednotlivé diagramy pokrytia pri súčasnom držaní klávesy „Ctrl“, alebo stlačením kombinácie kláves „Ctrl+A“ pre výber všetkých zobrazených diagramov

pokrytia), kliknutím pravým tlačidlom myši na tlačidlo z panela nástrojov „Výpočet pokrytí sítí“ nastavujúce modul pre prenos výsledkov výpočtov, následným zaškrtnutím voľby “Vyhodnotení kritérií a rozdílu sítí” (Obr. 18) a následným stlačením tlačidla „Přenést vybrané Pokrytí do Vyhodnotení kritérií a rozdílu sítí“ z panela nástrojov modulu „Výpočet pokrytí sítí“. (Obr. 19).

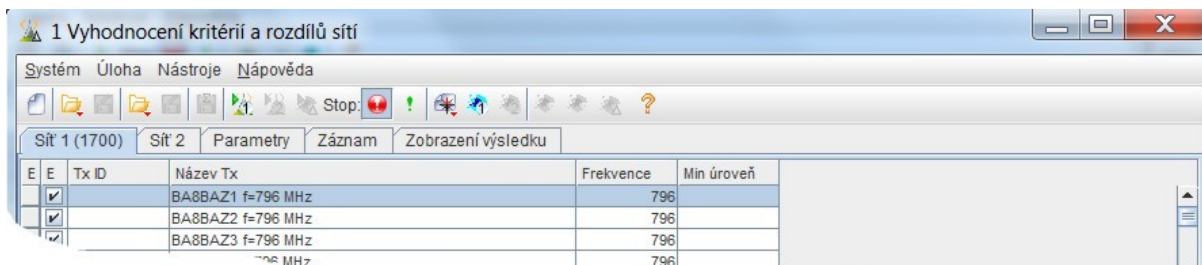


**Obr. 18: Modul „Výpočet pokrytí sítí“ / nastavenie cieľa pre prenesenie vypočítaných diagramov pokrytia vysielačov**

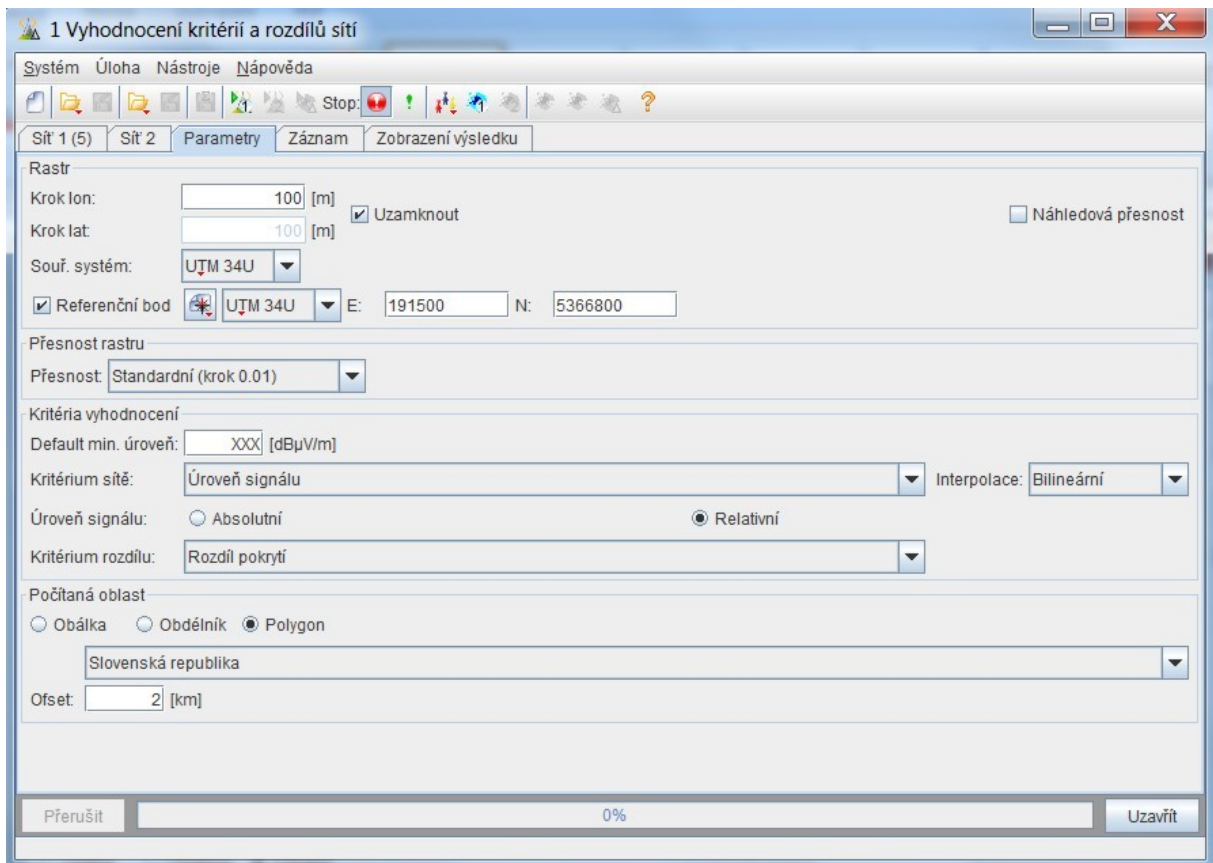


**Obr. 19: Modul „Výpočet pokrytí sítí“ / prenesenie vypočítaných diagramov pokrytia vysielačov**

(3) Po načítaní/prenesení vypočítaných diagramov pokrytí vysielačov do modulu „Vyhodnocení kritérií a rozdílu sítí“ sa zobrazí zoznam prenesených vysielačov v záložke „Sít' 1“ (k názvu záložky sa do zátvorčky pridá počet prenesených diagramov) (Obr. 20). Záložka „Sít' 2“ musí byť prázdna. Na záložke „Parametry“ sa nastavujú potrebné parametre podľa Obr. 21, hodnota parametra „Default min. úroveň“ sa nastaví podľa tabuľky 6 riadok 90 % miesta Metodického pokynu (pre signál LTE), resp. tabuľky 9 riadok 90 % miesta Metodického pokynu (pre signál GSM) a tlačidlom „Výpočet rastr sítě 1“ na paneli nástrojov sa spustí výpočet (Obr. 22).

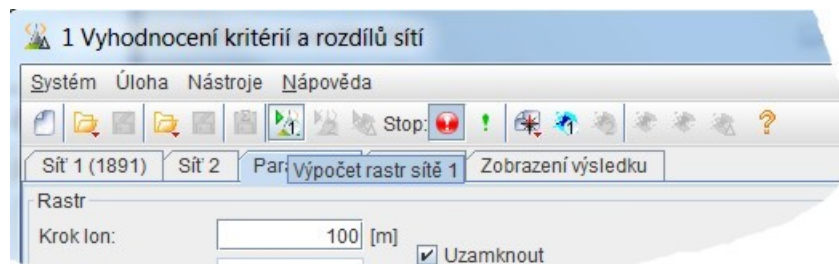


**Obr. 20: Modul „Vyhodnocení kritérií a rozdílu sítí“/ zoznam vypočítaných diagramov pokrytia**



Obr. 21: Modul „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“/ nastavené parametre pre výpočet

(4) Po ukončení výpočtu sa musí skontrolovať záložka „Záznam“, či výpočet prebehol v poriadku. V prípade, že bolo všetko v poriadku, tlačidlom „Uložiť“ na paneli nástrojov modulu „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“ sa vypočítaný raster siete 1 (.drd) uloží na disk pre ďalšie potreby, a/alebo prenesie sa ďalej do modulu „Grid Export“ podľa odst. 2 pís. b) nasledujúceho paragrafu (Obr. 25 a Obr. 26).



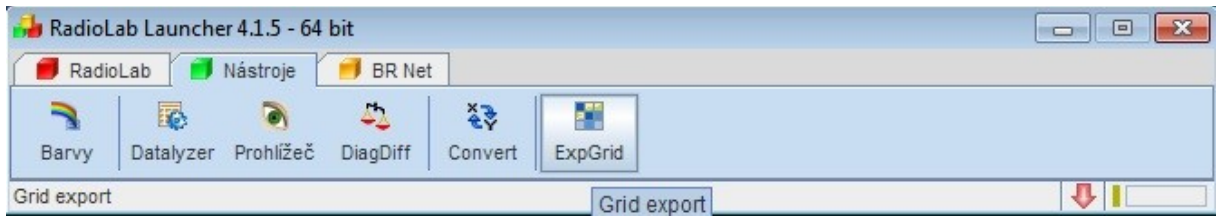
Obr. 22: Modul „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“/ spustenie výpočtu rastra

## 5. Konverzia rastra do binárneho tvaru

### § 6

(1) Konverzia rastra do binárneho tvaru sa vykoná prostredníctvom modulu „Grid Export“. Modul „Grid Export“ sa otvára zo základného okna RadioLab-u na záložke „Nástroje“ pomocou tlačidla „ExpGrid“ alebo priamo z ďalších modulov.

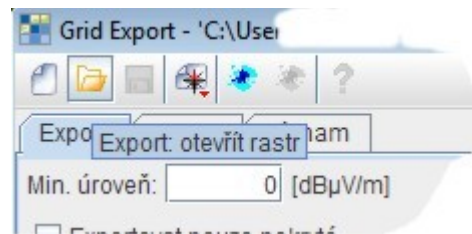




**Obr. 23: Základné okno RadioLab-u / otvorenie modulu „Grid Export“**

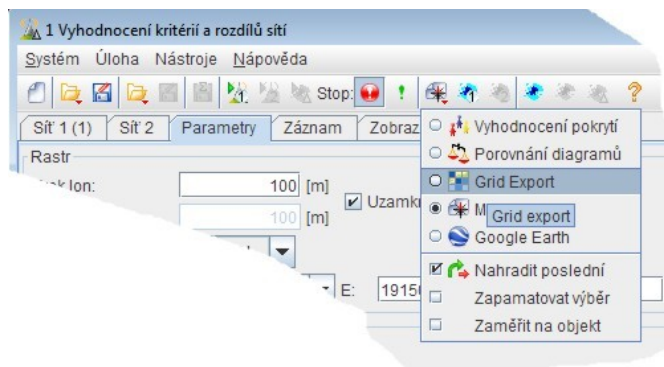
(2) Načítanie vypočítaného rastra pokrytia do modulu „Grid Export“ je možné:

- a) z uložených súborov pomocou tlačidla „Otvoriť“ z panela nástrojov modulu „Grid Export“ (pri aktívnej záložke „Export“) v ľavom hornom rohu (Obr. 24), ktoré otvorí dialógové okno pre otváranie uložených súborov s vypočítaným pokrytím v predchádzajúcich krokoch (diagramy pokrytia rastrov sietí majú koncovku .drd – diagramy v karteziánskych súradniciach), alebo

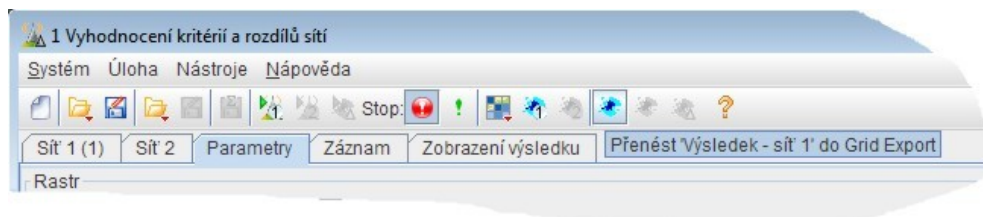


**Obr. 24: Modul „Grid Export“ / otvorenie vypočítaného rastra z disku**

- b) výberom vypočítaného rastra pokrytia v module „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“ štandardným spôsobom, kliknutím pravým tlačidlom myši na tlačidlo z panela nástrojov modulu „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“, ktoré nastavuje modul pre prenos výsledkov výpočtov, následným zaškrtnutím voľby “Grid Export“ (Obr. 25) a následným stlačením tlačidla „Přenést Výsledek Sít' 1 do Grid Export“ z panela nástrojov modulu „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“ (Obr. 26).

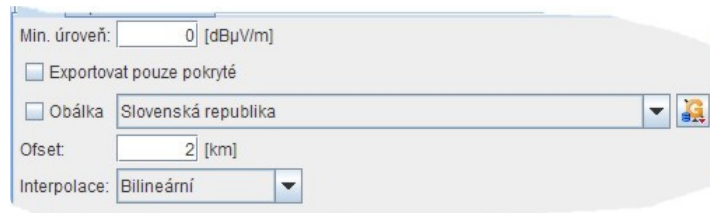


**Obr. 25: Modul „Grid Export“ / nastavenie cieľa pre prenesenie vypočítaných diagramov**

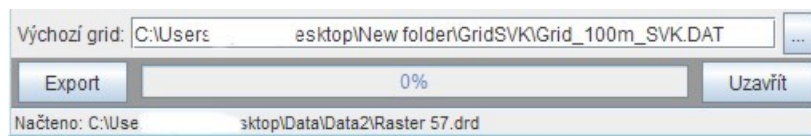


**Obr. 26: Modul „Vyhodnocení kritérií a rozdílů sítí“ / prenesenie vypočítaných diagramov**

(3) Po načítaní/prenesení vypočítaného rastra pokrytia sa v dolnej časti okna zobrazí názov načítaného rastra (Obr. 28). Podľa Obr. 27 sa nastaví parametre pre export a podľa Obr. 28 (v dolnej časti okna) cesta k referenčnému gridu. Export sa vykoná tlačidlom „Export“ v ľavej dolnej časti okna (Obr. 28). Raster sa uloží do súboru \*.csv v binárnej forme.



**Obr. 27: Modul „Grid Export“ / nastavenie parametrov pre export**



**Obr. 28: Modul „Grid Export“ / spustenie exportu**

(4) Na základe výsledkov výpočtov pokrytia štvorcov 100 m x 100 m a na základe počtu obyvateľov žijúcich v týchto štvorcoch úrad stanoví percentuálne pokrytie obyvateľstva SR službou.

(5) Porovnaním počtu pokrytých obyvateľov SR vypočítaných na základe konvertovaného rastra pokrytia do formátu v súbore „.csv“ a všetkých obyvateľov SR uvedených v súbore „.csv“ vytvorenom na základe podkladov dodaných štatistickým úradom, úrad vypočíta percentuálny počet pokrytých obyvateľov SR.

Príloha číslo: 3

K metod. pokynu č.: 1/2016

**Analýza požiadaviek prenosovej rýchlosti na šírku pásma a prenosovej bitovej chybovosti pre LTE**

## Obsah

1 Zoznam skratiek.....	3
1.1 Použité skraty.....	3
1.2 Použité symboly.....	4
2 Úvod.....	5
3 Hlava I.....	7
4 Dvoj a viac-stavové digitálne signály.....	7
4.1 Dvoj-stavové dátové signály.....	7
4.2 Použitie viac-stavových signálov.....	8
4.3 Prenosová kapacita kanálu.....	9
4.4 Limit prenosovej rýchlosti vyplývajúci z IP.....	10
5 Hlava II.....	11
Fyzikálne signály LTE.....	11
5.1 Základné parametre pre príjem LTE.....	11
5.2 Čiastkový záver z fyzikálnych signálov:.....	14
6 Hlava III.....	15
Chybovosť v prenosovom kanáli.....	15
6.1 Voľba chybovosti BER zodpovedajúceho pomeru S/N.....	15
6.2 Stanovenie chybovosti a zodpovedajúceho pomeru S/N pre FDD.....	15
6.3 Stanovenie chybovosti a zodpovedajúceho pomeru S/N pre TDD.....	18

# 1 Zoznam skratiek

## 1.1 Použité skratky

Skratka	Význam
16-QAM	16 quadrature amplitude modulation <i>16 stavová kvadratúrna amplitúdová modulácia</i>
BER	Bit Error Rate <i>Bitová chybovosť</i>
BS	Base Station <i>Základňová stanica</i>
ELMP	Elektromagnetické pole
FDD	Frequency Division Duplex <i>Duplex s kmitočtovým delením</i>
IP	Individuálne povolenie na používanie frekvencií
LTE	Long Time Evolution <i>Systém dlhodobej evolúcie</i>
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing <i>Multiplex s ortogonálnym frekvenčným delením</i>
PER	Packed Error Rate <i>Chybovosť paketov</i>
QPSK	Quadrature phase-shift keying or 4QAM <i>Kľúčovanie štvorstavovým fázovým posuvom</i>
RB	Resource block <i>Zdrojový blok</i>
RE	Resource element <i>Zdrojový element</i>
RF	Radio Frequency <i>Rádiový kmitočet</i>
RSRP	Reference Signal Received Power <i>Výkon prijatého referenčného signálu</i>
TDD	Time Division Duplex <i>Duplex s časovým delením</i>
TR	Technical Report <i>Technická správa</i>
UE	User Equipment <i>Zariadenie používateľa</i>

## 1.2 Použité symboly

Symbol	Význam
$B$	šírka prenosového pásma
$C$	teoretická prenosová kapacita kanálu
$f$	kmitočet = $\omega/2\pi$
$f_{max}$	maximálny kmitočet pravouhlého signálu
$h$	Planckova konštanta = $6,62 \cdot 10^{-34}$ J/s
$k$	Boltzmanova konštanta = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K
$M$	počet stavov digitálneho signálu
$n$	počet bitov vyjadrených vo viac-stavovom signáli
$N$	výkon šumov
$R$	hodnota odporu v $\Omega$
$S$	výkon užitočného signálu v ktorom je obsiahnutý aj šum
$S(\Omega)$	spektrálna hustota šumového napätia
$T$	absolútna teplota v Kelvinoch $K$
$t_{min}$	najkratšia doba trvania informačného impulzu
$T_{min}$	minimálna doba trvania periódy pravouhlého signálu
$v_t$	maximálna modulačná rýchlosť

## 2 Úvod

(1) V individuálnych povoleniach na pridelenie LTE frekvencií pre operátorov je uvedená podmienka, že:

...“Držiteľ individuálneho povolenia je povinný garantovať minimálnu prenosovú rýchlosť pre koncového užívateľa služby (**bez agregácie**), čo znamená, že je prenosová rýchlosť pri vonkajšom príjme (outdoor):

– vo frekvenčnom pásme 800 MHz:

2 Mbit/s pre zostupný smer (downlink) a 256 kbit/s pre vzostupný smer (uplink).

– vo frekvenčnom pásme 2600 MHz:

2 Mbit/s pre zostupný smer (downlink) a 256 kbit/s pre vzostupný smer (uplink).“

(2) Obsah vydaných individuálnych povolení, a významy v nich uvedených pojmov, je potrebné chápať v súlade s § 32, ods. 9 zákona číslo 351/2011 Z. z. v znení neskorších predpisov (ďalej len ZEK), kde je stanovené, že Individuálne povolenie podľa odseku 1 môže obsahovať len:

„... c) podmienky na efektívne používanie frekvencií,

d) *technické a prevádzkové podmienky potrebné na zamedzenie škodlivého rušenia a na obmedzenie vystavenia verejnosti účinkom elektromagnetického poľa, ak sa také podmienky líšia od podmienok určených vo všeobecnom povolení ...“*

(3) V prípade, že daný legislatívny dokument používajúci toto slovo nešpecifikuje význam použitého slova, tak platí ten význam slova<sup>1)</sup>, ktorý je uvedený v Krátkom slovníku Slovenského jazyka<sup>2)</sup>. Tento slovník, však pojem agregácia neobsahuje, obsahuje len pojem:

- *agregát -u m.: zoskupenie, stmelenie: kombajnový agregát; miner. hrubozrnný agregát.*

(4) Použitím slovníka cudzích slov<sup>3)</sup> zistíme, že pojem agregácia je cudzie slovo (lat.), ktorý má niekoľko významov. Obecný význam – základný – je:

*1. náhodné nahromadenie, nakopenie dačoho do jedného celku; stmelovanie, stmelenie, zhlukovanie, aglomerácia.*

(5) V technickej praxi je tento význam uvedený pod pojmom 4.

*4. tech.: spojenie technických prostriedkov alebo operácií, ktorým sa dosahuje iba súhrn účinkov, ktoré vykazovali jednotlivé prvky agregátov pri ich individuálnom praktickom využití.*

---

1) Ministerstvo kultúry: Opatrenie Ministerstva kultúry Slovenskej republiky z 8. apríla 2008 č. MK 1501/2008-0/5088 o vyhlásení kodifikovanej podoby štátneho jazyka podľa zákona NR SR č. 270/1995 Z. z. o štátnom jazyku Slovenskej republiky v znení neskorších predpisov.; čl. 2, písm. b).

2) Slovenská akadémia vied: Krátky slovník Slovenského jazyka; Vydavateľstvo slovenskej akadémie vied, Bratislava 2003

3) Šaling, S., Šalingová, M., Maníková, Z.: Veľký slovník cudzích slov, vydavateľstvo SAMO, Bratislava – Veľký Šariš 2000; ISBN 80-967524-6-4

(6) Pojem agregácia použitý v IP vychádza z technických špecifikácii pre systémy LTE, ktoré sú vydávané v anglickom jazyku. V anglickom jazyku pojem „aggregation“<sup>4)</sup>

- 1: *the collecting of units or parts into a mass or whole;*
- 2: *a group, body, or mass composed of many distinct parts.*

(7) Ďalšie významy pojmu agregácia v anglických literatúrach sú napr.<sup>5)</sup>:

- Link aggregation, *using multiple Ethernet network cables/ports in parallel to increase link speed;*
- Packet aggregation, *joining multiple data packets for transmission as a single unit to increase network efficiency.*

(8) Definície zavedené v technických špecifikáciách pre LTE technológie, používajú niekoľko pojmov napr.<sup>6)</sup>:

1. **Aggregated Channel Bandwidth:** The RF bandwidth in which a UE<sup>7)</sup> transmits and receives multiple contiguously aggregated carriers. (*Agregovaná šírka pásma kanálu: Vysokofrekvenčná šírka pásma v ktorej koncové zariadenie vysiela a prijíma viacnásobne súvisle agregované nosné*).
2. **Aggregated Transmission Bandwidth Configuration:** The number of resource block allocated within the aggregated channel bandwidth. (*Konfigurácia agregovanej prenosovej šírky pásma: Číslo zdrojového bloku priradené v rámci agregovanej šírky pásma kanálu*).
3. **Carrier aggregation:** Aggregation of two or more component carriers in order to support wider transmission bandwidths. (*Agregácia nosných: Agregácia dvoch alebo viacerých zlúčených nosných za účelom podpory širšieho prenášaného pásma*).

(9) Zo všetkých pojmov použitých v spojení s pojmom agregácia v technických špecifikáciách (a teda aj v IP) **pri down-link-u od eNodeB k účastníkovi je**, v návaznosti na definície v technických špecifikáciách pre LTE technológiu (napr. ETSI TS 136 101 alebo ETSI TS 136 213), **je že rýchlosť v downlink-u pre koncové zariadenie UE za podmienky simulácie zaťaženej siete, je optimálne zvoliť minimálny počet 6 Resource blocks od eNodeB k UE.**

(10) Uvedená voľba 6 RB – bez agregácie - zároveň zaisť simuláciu zaťažiteľnosti pásma v downlink napr. pre systémovú konfiguráciu 50 RB maximálnym počtom účastníkov

$$Počet_{UE} = \left\lfloor \frac{50}{6} \right\rfloor = 8 \quad (1)$$

4) Lubin, M.: Webster's new dictionary, Könnemann cologne, Germany 1995; ISBN 1-8848222-20-7; str. 21

5) <http://en.wikipedia.org/wiki/Aggregation>; 15. 5. 2015/11:00

6) ETSI TS 136 101 V12.5.0 (2014-11), kap. 3.1 Definitions, str. 16 a 17.

7) User equipment



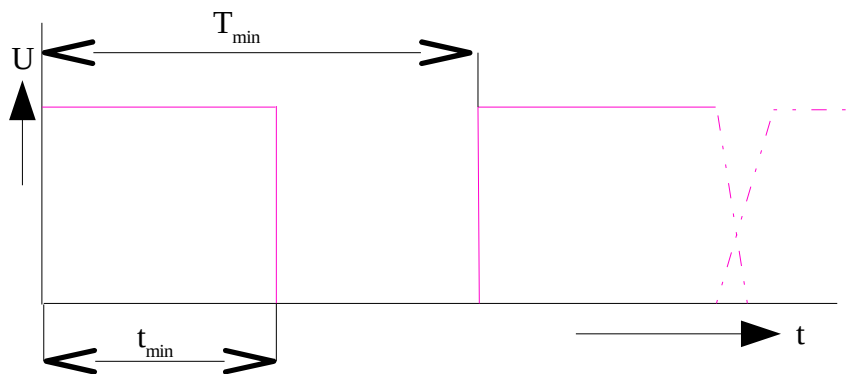
## 3 Hlava I

(1) V hlave II sa pojednáva o základných vlastnostiach dvoj a viac-stavových signáloch a prenosovej kapacite základného kanála.

### 4 Dvoj a viac-stavové digitálne signály

#### 4.1 Dvoj-stavové dátové signály

(1) Pri digitálnych technológiách sa prenášajú digitálne signály, ktorých základ tvoria úrovne (napät'ové, výkonové, ...) odpovedajúce logickej „1“ a „0“. Uvedený základný signál je zobrazený na nasledujúcom obrázku (obr. 1). Jedným z dôležitých parametrov popisujúcich prenos digitálnych signálov prenosovým médiom je maximálna rýchlosť prenosu týchto signálov, a pri tomto type signálu ju nazveme modulačnú rýchlosť.



Obrázok 1: Zobrazenie časovej postupnosti signálov na prenosovom médiu s niektorými parametrami.

(2) Základným obmedzujúcim faktorom modulačnej rýchlosti je dostupná prenosová šírka kmitočtového pásma prenosového média. Požiadavka na maximálnu šírku prenosového pásma je určená najkratšou dobou trvania informačného impulzu  $t_{min}$ . Tento čas určuje aj maximálny kmitočet prenášaného signálu.

(3) V prípade dvoj-stavového signálu sa udáva takzvaná maximálna modulačná rýchlosť  $v_t$ , ktorá je určená práve najkratšou dobou trvania impulzu a je vyjadrená nasledovným vzťahom<sup>8)</sup>

$$v_t = \frac{1}{t_{min}}; [Bd; s] \quad (2)$$

(4) Jednotkou tejto modulačnej rýchlosti je baud a určuje počet týchto impulzov prenesených za 1 sekundu.

(5) Z obrázku sa dá odvodiť i maximálny kmitočet pravouhlého signálu  $f_{max}$  prenášaného na prenosovom médiu určený minimálnou dobou trvania periódy  $T_{min}$ .

8) Napr.: Spáčil, J.: Telegrafní technika a přenos dat; VAAZ Brno 1976; bod. 1.4, str. 21, vzťah (1.6)

$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}} \quad (3)$$

$$T_{min} = 2 \cdot t_{min} \quad (4)$$

$$f_{max} = \frac{1}{2 \cdot t_{min}} \quad (5)$$

(6) Potom maximálna modulačná rýchlosť daná medzným kmitočtom prenosového média (prenosovou šírkou pásma) bude:

$$v_t = 2 \cdot f_{max}; [Bd; Hz] \quad (6)$$

$$v_t \leq 2 \cdot B; [b/s; Hz] \quad (7)$$

(7) Vzťah číslo (6) prepísaný na vzťah číslo (7) je známy ako Nyquistova rýchlosť<sup>9)</sup>.

(8) Pri dosiahnutí limitného kmitočtu bude dochádzať k značnému tvarovému skresleniu pravouhlého signálu, ktorý dosiahne tvar sínusového signálu o základnom kmitočte superponovaného na jednosmernú zložku, ktorý bude oneskorený oproti vstupnému signálu o konštantný časový interval<sup>10)</sup>.

## 4.2 Použitie viac-stavových signálov

(1) V prípade viac-stavového signálu je na jeden impulz (za minimálnu dobu trvania impulzu - jednotku času) prenášaný signál dosahujúci viacej ako dva stavy, a tento viac-stavový impulz predstavuje binárny symbol  $M$ . Potom budeme hovoriť **prenosovej rýchlosti**  $v_p$ , ktorá bude závisieť od modulačnej rýchlosti a od počtu binárnych symbolov, ktoré je možné vyjadriť jedným signálovým prvkom pripadajúcim na jednotkovú dĺžku  $t_{min}$ .

(2) Potom každý charakteristický stav  $M$  stavového signálu vyjadruje

$$n = \log_2(M); [bit; počet stavov] \quad (8)$$

$n$  počet bitov.

(3) Následne je možné prenosovú rýchlosť  $v_p$  vyjadriť ako závislosť modulačnej rýchlosti  $v_t$  a počtom stavov modulačného impulzu  $M$

$$v_p = v_t \cdot \log_2(M) \quad (9)$$

(4) Z dôvodu prenosu na fyzikálnych médiách dochádza pri prenose signálov k rušeniu, ktoré je tvorené tepelným šumom (minimálne). Tieto nežiaduce signály spôsobujúce znehodnocovanie prenosového traktu sú aj limitujúce faktory prenosovej kapacity prenosového média (ďalej len „kanál“).

## 4.3 Prenosová kapacita kanálu

(1) Maximálna teoretická prenosová kapacita reálneho kanálu  $C$  je určená Shannon-Hartleyovým vzťahom zohľadňujúcim prítomnosť rušenia<sup>11)</sup>

9) Napr.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley_theorem) 29. 11. 2015/12:10

10) Napr.: Spáčil, J.: Telegrafní technika a přenos dat; VAAZ Brno 1976; bod. 2.3, str. 54 vzťah (2.48)

11) Napr.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley_theorem) 29. 11. 2015/12:10

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right), \quad (10)$$

kde:

- $C$  je prenosová kapacita kanálu v  $[bit/s]$  ktorá je bez chybovosti;
- $B$  je maximálna prenosová šírka kanála v  $[Hz]$ ;
- $S$  je priemerný výkon signálu vo  $[W]$ ;
- $N$  je priemerný výkon šumu vo  $[W]$ .

(2) Uvedený vzťah je limitnou hodnotou prenosovej rýchlosti, ktorá je teoretická a **v praxi dosiahnutá rýchlosť bude vždy nižšia.**

(3) Z hore uvedeného je možné pomocou vzorcov (9) a (10) napísať závislosť medzi kapacitou kanálu a prenosovou rýchlosťou:

$$v_p \leq C \quad (11)$$

$$v_t \cdot \log_2(M) \leq B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (12)$$

Zo vzťahu vyplýva závislosť medzi modulačnou rýchlosťou, počtom stavov a potrebného minimálneho pomeru výkonu užitočného signálu k výkonom šumu a hlukov kanálu.

(4) Postupnými úpravami vzťahu (12) môžeme získať rôzne nutné informácie pre nastavenie parametrov prenosového kanálu.

(5) Pri navrhovaní prenosových kanálov je potrebné vždy počítať minimálne so širokopásmovým tepelným šumom, tvoreným tepelným chaotickým pohybom nosičov náboja. Tento typ šumu sa niekedy nazýva aj biely, či Gausov šum. Spektrálna hustota šumového napätia na odpore o hodnote  $R$  je určená vzťahom<sup>12)</sup>:

$$S_{(\Omega)} = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \frac{h \cdot f}{k \cdot T} \cdot \frac{1}{\left( e^{\frac{h \cdot f}{k \cdot T}} - 1 \right)} \quad (13)$$

kde:

- $S_{(\Omega)}$  je spektrálna hustota šumového napätia;
- $k$  je Boltzmanova konštanta =  $1,38 \cdot 10^{-23} J/K$ ;
- $T$  je absolútna teplota odporu  $R$  v kelvinoch  $K$ ;
- $h$  je Planckova konštanta =  $6,62 \cdot 10^{-34} J/s$ ;
- $f$  je kmitočet =  $\omega/2\pi$ ;
- $R$  je hodnota odporu v  $\Omega$ .

(6) V oblasti kmitočtov, pre ktoré je splnená podmienka  $\{(h \cdot f)/(k \cdot T)\} \ll 1$  zo vzťahu (13)

12) Žalud, V., Kulešov, V., N.: Polovodičové obvody s malým šumom, SNTL, Praha 1980; kap. 1.7, vzťah 1.67, str. 31

vyplýva, že spektrálnu hustotu šumového napätia je možné považovať za konštantnú. Jej hodnota je určená Nyquistovým vzťahom:

$$S_{(\Omega)} = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \quad (14)$$

(7) Horný limit kmitočtu pre konštantnú spektrálnu hustotu šumového napätia vyplýva zo vzťahu (13) a má hodnotu približne  $f_{max} = 6,25 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ . Postupnými úpravami sa dostaneme k najpoužívanejšiemu vzťahu pre výkonovú hustotu tepelného šumu

$$P_{\xi/1\text{Hz}} = 10 \cdot \log(kTB) \text{ [dBW]}, \quad (15)$$

alebo

$$P_{\xi/1\text{Hz}} = 10 \cdot \log(kTB) + 30 \text{ [dBm]}. \quad (16)$$

#### 4.4 Limit prenosovej rýchlosti vyplývajúci z IP

(1) Vzhľadom na rozvojové podmienky uvedené v IP pre LTE – **bez agregácie a 2 Mb/s v downlinku** - je možné overiť minimálne nastavenie niektorých parametrov prenosového kanálu.

$$\frac{v_p}{B} \leq \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (17)$$

(2) Najskôr je potrebné preveriť minimálny počet stavov pri modulácii  $M$  potrebných na prenos požadovanej prenosovej rýchlosti  $v_p$  pre danú šírku prenosového kanála  $1,08 \text{ MHz}$  v downlinku.

(3) Použitím vzťahov (7) a (9) dostaneme:

$$2B \cdot \log_2(M) = v_p \quad (18)$$

$$\log_2(M) = \frac{v_p}{2 \cdot B} \quad (19)$$

(4) Pri základnom nastavení bez potrebných nadbytočných bitov v prenose bude potrebný počet stavov:

$$M = 2^{\left(\frac{2}{2 \cdot 1,08}\right)} = 2^{0,926} = 1,9 \text{ stavov}. \quad (20)$$

(5) Výsledok musí byť celočíselnou mocninou čísla 2. Teda pre prípad potreby dosiahnuť prenosovú rýchlosť  $2 \text{ Mb/s}$  v modulačnom pásme  $1,08 \text{ MHz}$  by stačili dva stavy pre „primárny“ modulačný signál.

(6) Na základe § 7, ods. 5, Metodického pokynu na vyhodnocovanie pokrytia je potrebné na fyzickej vrstve – prenosovom rádiovom kanáli – preniesť o 25 %  $+0,2 \text{ Mb/s}$  viac ako je v IP nastavená minimálna garantovaná prenosová rýchlosť v downlinku, teda minimálne  $2,7 \text{ Mb/s}$ . Potom bude minimálnu potrebný počet stavov na rádiovom kanáli LTE

$$M = 2^{\frac{2,7}{2 \cdot 1,08}} = 2^{1,25} = 2,38 \text{ stavov}. \quad (21)$$

(7) Zo vzťahu je vidieť, že pri požadovanej rezerve (redundancii)  $0,7 \text{ Mb/s}$  dva modulačné stavy nestačia. Najbližší možný väčší počet modulačných stavov sú 4 stavy – teda 2 bity na jeden

impulz. Zo vzťahu je vidieť, že 4-stavový signál bude spĺňať požiadavku minimálnej prenosovej rýchlosti s dostatočnou rezervou podľa vzťahu (18):

$$v_p = 2.1,08 \cdot \log_2(4) = 4,32 \text{ Mbit/s}. \quad (22)$$

(8) Na prenos signálov po rádiovom kanáli je potrebné použiť niektorý typ modulácie. Pri použití modulácie ktorá nevyužíva prekryvanie postranných spektrálnych pásiem kmitočtového spektra modulovaného signálu dochádza k nárastu požiadavky na šírku prenosového pásma často na dvojnásobok a viacnásobok modulačného pásma. Túto nevýhodu odstraňuje použitie kvadraturných modulácií (QAM), kde sa využíva vlastnosti sínusovej a kosínusovej funkcie.

## 5 Hlava II

### Fyzikálne signály LTE

#### 5.1 Základné parametre pre príjem LTE

(1) V LTE technológiách sú dáta zo základňovej stanice (ďalej len „BS) ku koncovému zariadeniu (ďalej len „UE“) vysielané prostredníctvom OFDM signálov (FDD - Frequency Division Duplex aj TDD – Time Division Duplex), ktoré sú členené do tzv. zdrojových blokov, v technických špecifikáciách nazývaných Resource blocks (RBs)<sup>13)</sup>. RB je členený do tzv. zdrojových elementov v technických špecifikáciách nazývaných resource elements (REs). Jeden RB pozostáva v kmitočtovej oblasti z 12-tich subnosných so šírkou prenášaného pásma  $15 \text{ kHz}$ <sup>14)</sup> na jednu subnosnú a vzdialených od seba tiež  $15 \text{ kHz}$ .

(2) V časovej oblasti existujú 3 typy rámcových štruktúr<sup>15)</sup>, kde rámec typu 1 je používaný pre FDD a RB je v časovej oblasti vysielaný v tzv. rádiových rámcoch o trvaní  $10 \text{ ms}$  (Obr. 2). Každý rádiový rámec je rozdelený do  $20$ -tich časových slotov (ďalej len „slot“) a dva sloty tvoria jeden subrámec. Potom jeden slot trvá  $0,5 \text{ ms}$ .

(3) Rámec typu 2 je používaný pre TDD prenos<sup>16)</sup>.

(4) Rámec typu 3 je využívaný pre sekundárnu BS obsluhujúci UE.

(5) Vzhľadom k tomu, že prevažná časť povolení v SR je vydaných na FDD, ďalej bude pojednávané o štruktúre RB pre FDD. Štruktúra je graficky zobrazená na obr. 4.

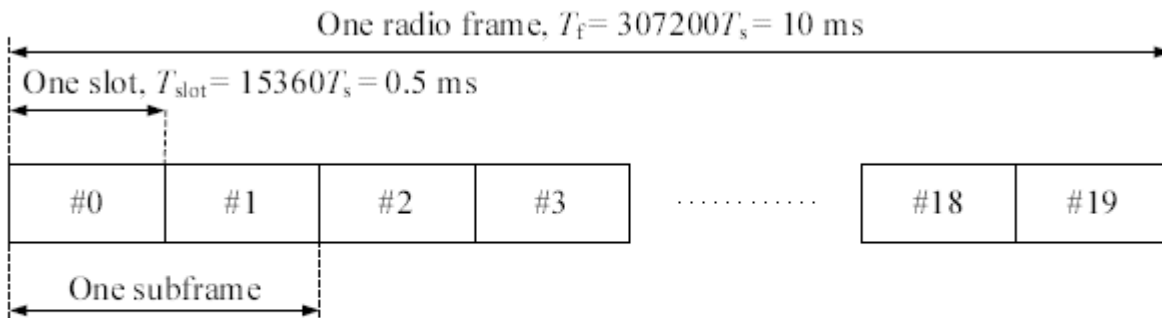
---

13) ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01): kap. 6.2.2, str. 63 a nasl.

14) ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01): kap. 6.2.3, str. 64.

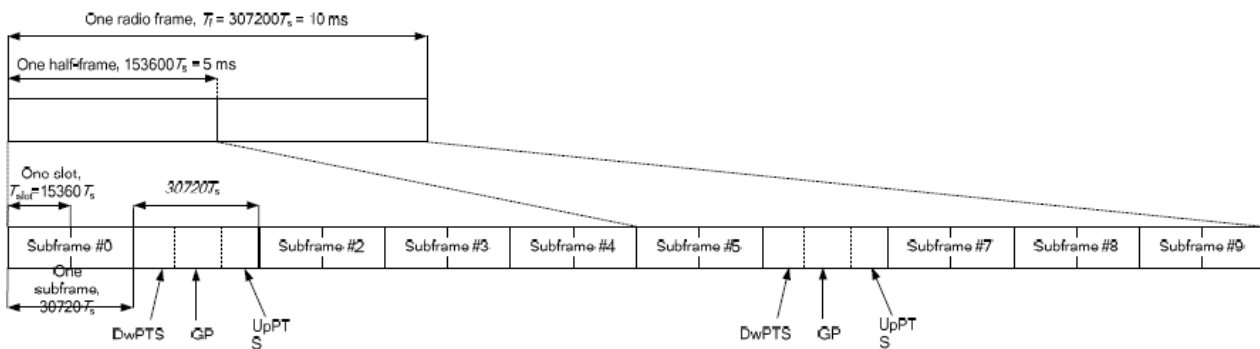
15) ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01): kap. 4 a nasl od. Str. 11.

16) ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01): kap. 4.1, str. 11



**Figure 4.1-1: Frame structure type 1**

Obrázok 2: ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01) (str. 12): Zobrazenie štruktúry rámca typu 1 pre FDD



**Figure 4.2-1: Frame structure type 2 (for 5 ms switch-point periodicity)**

Obrázok 3: ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01) (str. 13): Zobrazenie štruktúry rámca typu 2 pre TDD.

(6) Z obr. 4 vyplýva, že jeden slot v trvaní 0,5 ms je pri normálnom prefixe v časovej oblasti rozdelený do 7-mich symbolov, ktoré sú vysielané ako celok. Potom doba trvania jedného symbolu aj s prefixom trvá:

$$t_{\text{symbol}} = \frac{t_{\text{subframe}}}{7} \quad (23)$$

$$t_{\text{symbol}} = \frac{500 * 10^{-6}}{7} = 71,43 \mu\text{s} \quad (24)$$

(7) V systéme LTE sa vykonávajú rôzne technické a prevádzkové merania, pritom značná časť je vzťahovaná k základnému zdrojovému elementu REs. Jedno z meraní vykonávaných BS (aj UE) je meranie úrovne referenčných signálov na RE tzv. RSRP (Reference Signal Received Power<sup>17)</sup>), pre 15 kHz šírku kmitočtového pásma.

17) ETSI TS 136 214 V13.0.0 (2016-01): kap. 5.1.1, str. 7.

(8) Pri stanovovaní minimálnej potrebnej intenzity elektromagnetického poľa (ďalej len „ELMP“) je vhodné vychádzať z tejto šírky pásma.

(9) V LTE systéme sa používa OFDM modulácia, pri ktorej je použitý ortogonálny systém kmitočtového rastra. V tomto rastru sú jednotlivé nosné vzdialené od seba o  $15\text{ kHz}$ , čo znamená, že každých  $15\text{ kHz}$  je nosná, ktorá je viacstavovo modulovaná.

(10) Z teórie signálov vyplýva, že minimálna vzdialenosť nosných od seba môže byť v oblasti nulovej úrovne kmitočtového spektra digitálneho signálu, teda

$$f = \frac{1}{t_i}; \text{ [Hz; s]}. \quad (25)$$

(11) Doba trvania najkratšieho impulzu je daná vzdialenosťou kmitočtov v rastru kmitočtov. V prípade LTE signálu s normálnym prefixom je vzdialenosť kmitočtov  $15\text{ kHz}$ , teda doba trvania najkratšieho impulzu<sup>18)</sup> bude

$$t_{i15} = \frac{1}{15 \cdot 10^3} = 66,7\ \mu\text{s}. \quad (26)$$

(12) Podľa bodu 4, ETSI TS 136 211 V12.3.0 (2014-10) sa modulačný signál v FDD vysiela v modulačnom rámci dlhom  $10\text{ ms}$ . Každý modulačný rámec je rozdelený na  $10$  subrámcov, pričom jeden subrámec má dva sloty. Každý slot má dobu trvania – dĺžku  $0,5\text{ ms}$ . V tomto sloje je pri normálnom prefixe odvysielaných  $7$  symbolov<sup>19)</sup>. Potom minimálna doba trvania symbolu  $t_{min}$  (ktorého informačný obsah bude závisieť od počtu bitov) bude:

$$t_{min} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{7} = 0,07143 \cdot 10^{-3} = 71,43\ \mu\text{s}. \quad (27)$$

(13) Pri modulácii QPSK (niekedy označovanej aj ako QAM) bude na jednu subnosnú predstavovať prenosovú rýchlosť vzťah (9)

$$v_p = \frac{1}{71,43 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2(4) = 13\,999,722 = 28\text{ kbit/s} \quad (28)$$

(14) Podľa vzťahu (28) bude prenosová rýchlosť na jednu subnosnú pri QPSK  $28\text{ kbit/s}$ . Potom pri tejto modulácii a počtu  $6\text{ RB}$  bude absolútna prenosová rýchlosť

$$v_{pRB} = v_{p \cdot 12 \cdot 6} = 28 \cdot 12 \cdot 6 = 2016\text{ kbit/s} \quad (29)$$

(15) Pre zabezpečenie požadovanej prenosovej rýchlosti pre užívateľa  $2\text{ Mb/s}$  je potrebné na fyzickej vrstve minimálnu garantovanú rýchlosť zvýšiť o  $25\%$  čo predstavujú subnosné použité na prenos riadiacích a kontrolných signálov rádiovkej vrstvy (Metodický pokyn § 7, ods. (4)). K tejto rýchlosti je potrebné pripočítať  $0,2\text{ Mb/s}$  čo tvoria dáta na vytváranie IP paketov. Potom minimálna požadovaná rýchlosť pre zabezpečenie prenosu  $2\text{ Mb/s}$  bez agregácie bude

**$2,7\text{ Mbit/s}$ .**

(16) Z výsledku vyplýva, že na zaistenie minimálnej prenosovej rýchlosti  $2\text{ Mb/s}$  v  $6\text{ RB}$  pre Downlink **nebude postačovať 4 stavová modulácia QPSK**.

18) Pri viac stavových moduláciách sa jedná o dĺžku trvania symbolu.

19) ETSI TS 136 211 V12.3.0 (2014-10): bod 5.2.3 Resource blocks tabuľka 5.2.3.-1, str. 15.

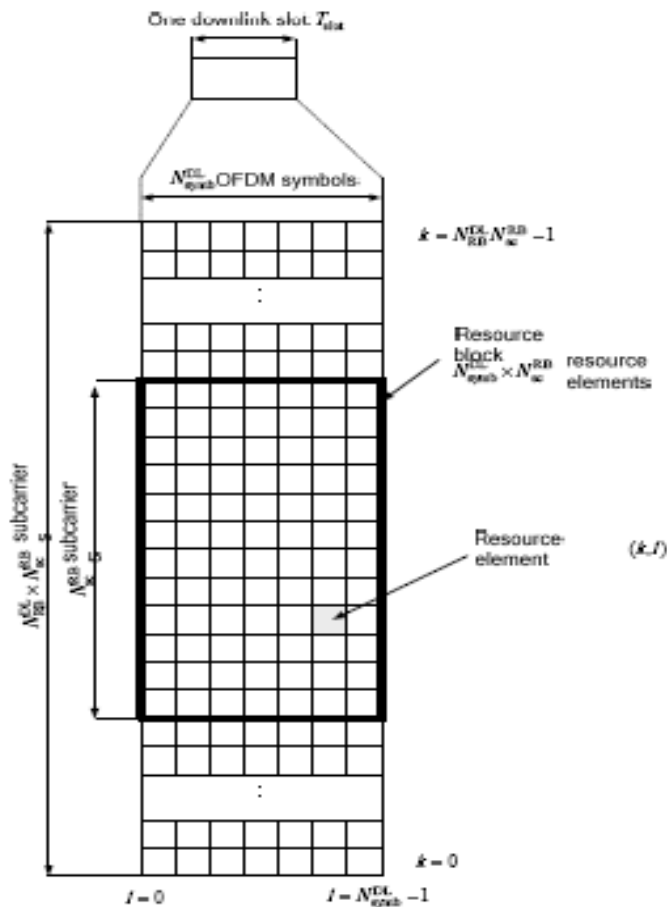


Figure 6.2.2-1: Downlink resource grid

Obrázok 4: ETSI TS 136 211 V13.0.0 (2016-01, kap. 6.2.2, str. 63: Grafické zobrazenie štruktúry zdrojového bloku.

## 5.2 Čiastkový záver z fyzikálnych signálov

(1) Z požiadavky minimálnej prenosovej rýchlosti v down-linku  $2 \text{ Mbit/s}$  a fyzikálne limitovanej hodnoty prenosovej rýchlosti RB pre daný typ modulácie je potrebné v down-linku zvýšiť počet stavov modulácie zo základnej  $QPSK$  na  $16 \text{ QAM}$ . Tým sa podľa vzťahov č. (2) a (9) zvýši kapacita prenosového kanálu na

$$v_{p16QAM} = 6 \cdot RB \cdot \frac{1}{t_{min}} \cdot \log_2(M) = 6 \cdot 12 \cdot \frac{1}{71,43 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2(16) \quad (30)$$

$$v_{p16QAM} = 72 \cdot 13999,72 \cdot 4 = 72 \cdot 56,0 = 4,032 \text{ kbit/s} \quad (31)$$

$4,032 \text{ Mbit/s}$ , čím sa vytvorí rezerva prenosovej kapacity na existenciu chybovosti.

(2) Pri modulácii  $16QAM$  pre nulovú chybovosť (obr. 5) bude potrebný odstup  $S/N = 24 \text{ dB}$ .



(3) V reálnych prenosových kanáloch neexistuje bezchybný prenos, preto je potrebné zaviesť koeficient chybovosti, a tým je možné znížiť požadovaný pomer  $S/N$ . Napr.<sup>20)</sup> R&S uvádza, že pri 16QAM a chybovosti  $BER = 10^{-5}$  je potrebný minimálny  $S/N = 19,5 \text{ dB}$  (obr. 6). Nastoluje sa otázka, či táto chybovosť je dostatočná na toľko, aby pri požiadavkách na opravy chybných paketov výsledná prenosová rýchlosť nepoklesla pod  $2 \text{ Mbit/s}$ .

## 6 Hlava III

### Chybovosť v prenosovom kanáli

#### 6.1 Voľba chybovosti BER zodpovedajúceho pomeru S/N

(1) Z dôvodu zaistenia prenosovej rýchlosti dát pre užívateľa je potrebné zvažovať dáta na 4. vrstve modelu ISO/OSI, z uvedeného dôvodu je za základ úvahy braný plne zaťažený prepínaný Ethernet, kde rámce (alebo pakety) sú prenášané back-to-back, oddelené obvyklým 96-bit Inter-Frame Gap (IFG). V prepínanom LAN možno zaťažiť každé pripojenie na takmer 100 % - len IFG tomu bráni. V rádiovom kanáli je situácia komplikovanejšia.

(2) Je známe, že menšie pakety sú menej citlivé na rušenie, pretože je štatisticky viac pravdepodobné, že zhuk vnútorných alebo vonkajších zdrojov rušenia (napr. kabeláž, presluchy alebo elektromagnetické rušenie) sa netrafí do prenášaného paketu.

(1) Pri minimálnej veľkosti Ethernet rámca 64 Bytov sa BER potrebný k poškodeniu aspoň jedného bitu v každom rámci vypočíta:

$$\text{Ethernet}_{\text{minfr}} + \text{IFG} = 64 * 8 + 96 = 608 \text{ bitov} : \text{BER} = \frac{1}{608} = 1,6 \cdot 10^{-3} \quad (32)$$

t. j. 1 bit na každých 608 bitov.

(1) Pri maximálnej veľkosti Ethernet rámca 1518 Bytov

$$\text{Ethernet}_{\text{minfr}} + \text{IFG} = 1518 \cdot 8 + 96 = 12240 \text{ bitov} : \text{BER} = \frac{1}{12240} = 8,2 \cdot 10^{-5} \quad (33)$$

t. j. 1 bit na každých 12 240 bitov.

(2) Vyššie uvedené scenáre porovnávajú 100 % stratu paketov alebo nulovú priepustnosť, založenú na predpoklade, že sú bitové chyby rovnomerne rozložené.

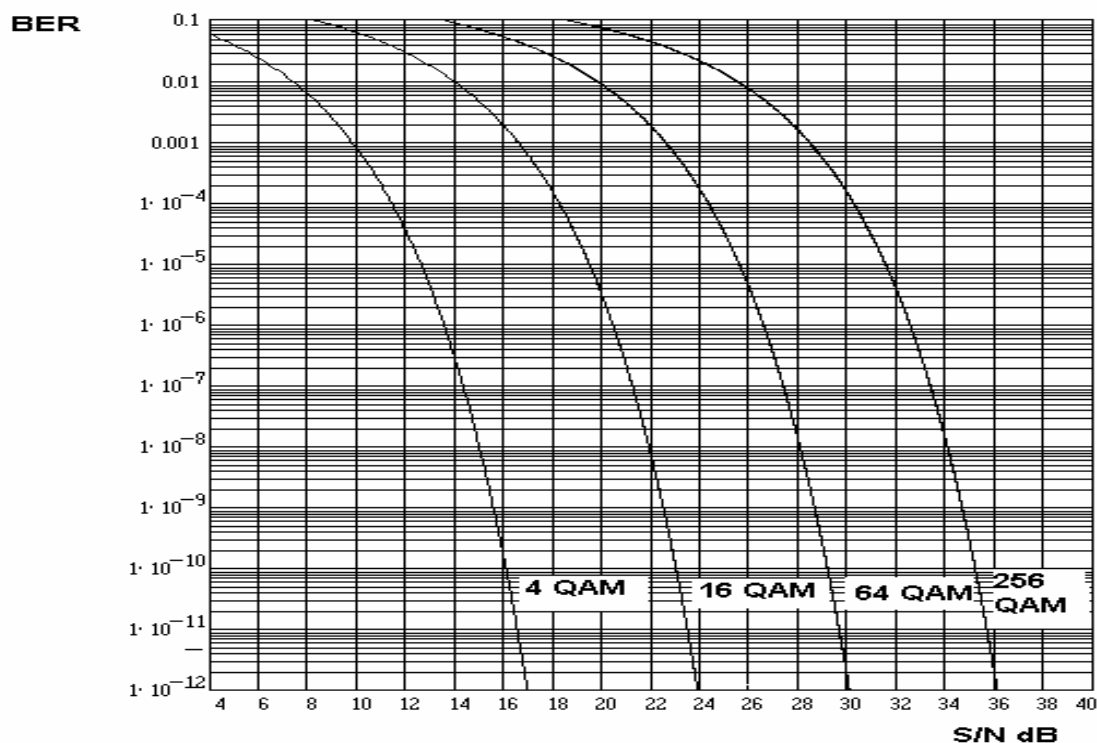
#### 6.2 Stanovenie chybovosti a zodpovedajúceho pomeru S/N pre FDD

(1) V prípade 100 % priepustnosti prenosového kanálu by bola maximálna prenosová rýchlosť  $4,032 \text{ Mbit/s}$ . Vzhľadom na požiadavku minimálnej rýchlosti na fyzickej vrstve  $2,7 \text{ Mbit/s}$  môže byť limitná minimálna priepustnosť základného neagregovaného bloku (6 RB):

$$\text{Priepustnosť}_{\text{min}} = \frac{V_{\text{min1. Vrstva}}}{V_{p16 \text{ QAM}}} \cdot 100; [\% ; \text{Mbit/s} ; \text{Mbit/s}] \quad (34)$$

20) [http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/7bm03/7BM03\\_4E.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/7bm03/7BM03_4E.pdf): Rohde&Schwarz: Bit error ratio BER in DVB as function S/N; str. 3, obr. 1.

$$\text{Priepustnosť}_{min} = \frac{2,7}{4,032} \cdot 100 = 0,6696 \cdot 100 = 67,96 \% \quad (35)$$



Obrázok 5: Závislosť BER na type modulácie a pomere S/N.

Detail obrázku č. 5 je na obr. č. 6.

(2) Počet stratených paketov v závislosti na BER pri používaní politiky „partial checksum“ je možné vypočítať podľa vzťahu<sup>21)</sup>

$$PER = 1 - (1 - BER)^{\left(\frac{1}{length}\right)} \quad ((36))$$

kde:

- $PER$  je pomerná časť stratených paketov;
- $BER$  je bit error rate – bitová chybovosť;
- $length$  je bitová dĺžka paketu.

Pri dĺžke paketu 608 bitov bude pri bitovej chybovosti  $10^{-3} PER$

21) Microsoft research, China, 5F, Beijing Sigma Center, No. 49, Zhichun Road, Haidian District, Beijing 100080, P. R. China: AN EFFICIENT TRANSPORT SCHEME FOR MULTIMEDIA OVER WIRELESS INTERNET



$$BER = 1 - 0,9993649207 = 0,0006350793 \quad (41)$$

$$BER_{608bit} \leq 6,35 \cdot 10^{-4} \quad (42)$$

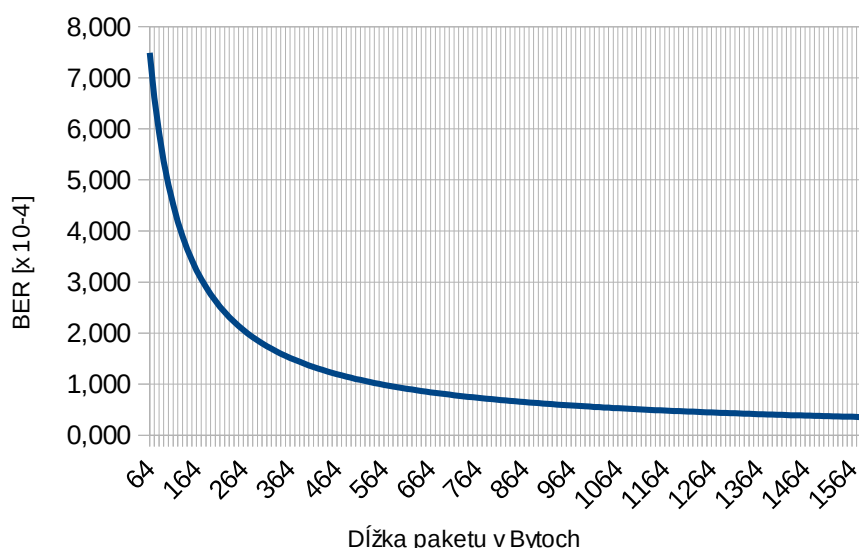
(5) Pri dátovom TCP/IP prenose nie je celý prenosový čas využitý na prenos, ale vzniká tu čas latencie nazývaný ako Round Trip Time, ktorý pri LTE technológii dosahuje priemernú hodnotu<sup>23)</sup> 20 ms. Pri kratších paketoch<sup>24)</sup> je to menej, pri dlhších paketoch viacej.

(6) Pri zvážení priemernej hodnoty *RTT* 20 ms narastie požiadavka na priepustnosť siete, a z uvedeného dôvodu je nutné s určitou rezervou zvoliť chybovosť pre FDD

$$BER < 1 \cdot 10^{-4}$$

(7) Na základe zvolenej chybovosti  $BER = 1 \cdot 10^{-4}$  je možné z obr. 6 určiť požadovaný odstup  $S/N = 18 \text{ dB}$ <sup>25)</sup>.

Závislosť BER na dĺžke rámca v bitoch, pri PER 0,3658.



Obrázok 7: Graf závislosti BER na dĺžke dátového paketu v Bytoch pri konštantnej maximálne povolenej PER 0,3658.

(8) V prípade voľby väčšej dĺžky paketu narastá požiadavka na zníženie parametra BER (obr. 7).

### 6.3 Stanovenie chybovosti a zodpovedajúceho pomeru S/N pre TDD

(1) V prípade použitia TDD prístupu ku rádiovému kanálu v LTE dochádza k prepínaniu prenosu Downlink a Uplink na tom istom kmitočtovom kanáli. V tomto prípade sa používa rámcová štruktúra typu 2 (obr. 3). Na základe nesymetrických podmienok pre prenosové rýchlosti v IP

23) [http://cwi.unik.no/images/Latency\\_in\\_LTE\\_comments.pdf](http://cwi.unik.no/images/Latency_in_LTE_comments.pdf) str. 11

24) <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:565509/FULLTEXT01.pdf>: kap. 6 str. 27.

25) ITU-R SM.1235: Performance functions for digital modulation systems in an interference environment; fig. 24, str. 15 získame obdobné hodnoty.

(2 Mb/s v Downliku a 256 kb/s v uplinku, čo je pomer 7,8125) je možné v TDD nastaviť/voliť pomer 7/2. Potom zostáva na prenos dát dostupný menší čas oproti FDD, a to

$$v_{TDDmax} = v_{p16QAM} \cdot \frac{t_{Dwn}}{(t_{dwn} + t_{Upl} + GP)} \quad (43)$$

$$v_{TDDmax} = 4,032 \cdot \frac{7}{(7+2+1)} = 2,822 \text{ Mb/s} . \quad (44)$$

(2) Pri uvedenom pomere DW/UP je na fyzickej vrstve dostupná rýchlosť 2,822 Mb/s, pritom pre splnenie podmienky IP je nutné mať dostupnú rýchlosť 2,7 Mb/s, čo predstavuje priepustnosť

$$\text{priepustnosť}_{TDD} = \frac{v_{min1.vrstva}}{v_{TDDmax}} \cdot 100; [\%; \text{ Mb/s}; \text{ Mb/s}] \quad (45)$$

$$\text{priepustnosť}_{TDD} = \frac{2,7}{2,822} \cdot 100 = 95,66 \% . \quad (46)$$

(3) Na základe stanovenej priepustnosti downlinku a vzťahu č. (39) je možné z grafu na obr. 5 a 6 stanoviť požadovaný pomer S/N pre TDD potrebný k stanoveniu požadovanej úrovne signálu na vstupe UE.

$$BER = 1 - (1 - 0,0434)^{\left(\frac{1}{608}\right)} = 1 - (0,95663)^{0,001644} \quad (47)$$

$$BER = 1 - 0,99992708191223844603 = 7,291808776155397 \cdot 10^{-5} \quad (48)$$

$$BER_{608bit} \leq 7,3 \cdot 10^{-5} \quad (49)$$

(4) Z výsledku je zrejmé, že pre TDD je potrebné dosiahnuť chybovosť BER asi o jeden rád lepšiu ako v FDD, pre ďalšie použitie je z hore uvedených dôvodov volená chybovosť

$$BER_{TDD} \leq 1 \cdot 10^{-5} .$$

(5) Z vypočítanej maximálnej chybovosti je pre 16QAM potrebné zaistiť odstup signál šum (obr. 6)

$$S/N_{TDD} = 19,5 \text{ dB} .$$

Príloha číslo: 4  
K metod. pokynu č.: 1/2016

**Záznam z merania (vzor)**

**Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb**  
**odbor štátneho dohľadu**  
**krajské pracovisko ....**

**Záznam z merania**

Dátum merania:

Podmienky merania:

Merané frekvenčné pásmo

Merací prístroj:

Typ:

Číslo:

Meracia anténa:

Typ

Koaxiálny kábel:

Typ

dĺžka

Tabuľka nameraných hodnôt

ŠTVOREC (označenie)	čas začiatku merania	Názov MB	Poloha GPS		$E_{\text{namer}}$ dB $\mu$ V/m	Hodnotenie pokrytia (áno/nie)
	[HH:mm]		Šírka	dĺžka		[Áno/Nie]
1						
2						
3						
...						
n						

Meranie vykonali: