

Skúsenosti z meraní elektromagnetického poľa v životnom prostredí

Ing. Roman Ščehovič
rscehovic@vus.sk

Legislatívna základňa

- Zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 534/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí

Európska legislatívna základňa

- Odporúčanie Európskeho parlamentu a rady 2004/519/ES o obmedzení vystavenia obyvateľstva elektromagnetickým poliam (0 Hz – 300 GHz)

Toto odporúčanie definuje:

základné obmedzenia, ktoré sú priamo založené na stanovených zdravotných prejavoch. Pre frekvencie 100 kHz až 10 GHz je definovaný pomocou SAR – merný absorbovaný výkon na celé telo alebo na určité jeho časti spôsobujúci tepelný šok

referenčná úroveň, ktorá je určená pre porovnanie so zmeranými hodnotami fyzikálnych veličín a táto zhoda zabezpečí splnenie základných obmedzení (vo vyhláške 534/2007 sa označujú ako akčné hodnoty)

Posudzovanie základňovej stanice v mieste ich inštalácie

- Základňová stanica je umiestňovaná na vyvýšených miestach tak aby čo najlepšie pokrývala signálom okolie.
- Často sa stáva, že tieto miesta využívajú viacerí prevádzkovatelia mobilných sietí
- Základňové stanice obsahujú viaceré systémy
- Posudzuje sa celková expozícia od všetkých zdrojov

$$\sum_{100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} (\mathbf{E}_i / c)^2 + \sum_{f > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} (\mathbf{E}_i / \mathbf{E}_{L_i})^2 \leq 1$$

Akčné hodnoty

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa E (V/m)	Intenzita magnetického poľa H (A/m)	Magnetická indukcia B (μ T)	Hustota toku výkonu ekvivalentnej rovinatej vlny S_{eq} (W/m ²)
0 Hz až < 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1 Hz až < 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	-
8 Hz až < 25 Hz	10 000	$4\,000/f$	$5\,000/f$	-
0,025 kHz až < 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0,8 kHz až < 3 kHz	$250/f$	5	6,25	-
3 kHz až < 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 MHz až < 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
1 MHz až < 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
10 MHz až < 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz až < 2 000 MHz	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037 \cdot f^{1/2}$	$0,0046 \cdot f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz až 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Technické normy

- EN 50 554 – Základná norma pre posúdenie vysielacieho stanoviska v mieste inštalácie vo vzťahu k vystaveniu obyvateľstva vysokofrekvenčným poliam
- EN 50 492 – Základná norma na miestne meranie intenzity elektromagnetického poľa na expozíciu ľudí v blízkosti základňových staníc
- EN 50 400- Základná norma pre preukázanie zhody pevných zariadení na rádiový prenos (110 MHz – 40 GHz) určených na použitie v bezdrôtových telekomunikačných sieťach so základnými obmedzeniami alebo referenčnými hodnotami pre vystavenie obyvateľstva VF poliam spôsobené ich uvedením do prevádzky

Zásady výberu miest merania

- Pri výbere miest, kde sa v okolí vykoná kontrolné meranie, sa vykonáva na základe technických parametrov ZS
- Základnou informáciou je smerovanie hlavných vyžarovacích lalokov antén pretože merané body by mali byť v tomto smere
- Keďže vertikálna smerová charakteristika je premenlivá je potrebné vyhľadať maximum

Posudzovanie zhody v mieste inštalácie ZS

- Norma EN 50 400 popisuje určenie TER – Celkového expozičného pomeru pre miesta, kde majú obyvatelia prístup ako aj oblasť posudzovania expozičného pomeru
- Definuje pre každé posudzované miesto relevantné zdroje – sú to zdroje EMP ktoré majú nezanedbateľný vplyv na celkový TER a príspevky týchto zdrojov je potrebné merať

Pre takýto zdroj platí, že jeho príspevok je minimálne 0,05 expozičného pomeru tzn. z referenčnej hodnoty pre pracovnú frekvenciu zdroja(napr. pre GSM 900 MHz je to 2V/m)

Oblasť posudzovania je oblasť v okolí ZS kde majú prístup ľudia

Táto oblasť zahrňuje tzv. Relevantnú oblasť, ktorej vonkajšiu hranicu definuje $TER = 0,05$

Relevantné zdroje v zastavaných oblastiach

- V mestských oblastiach sa v súčasnosti nachádzajú tieto relevantné zdroje v súlade s už uvedenou definíciou:

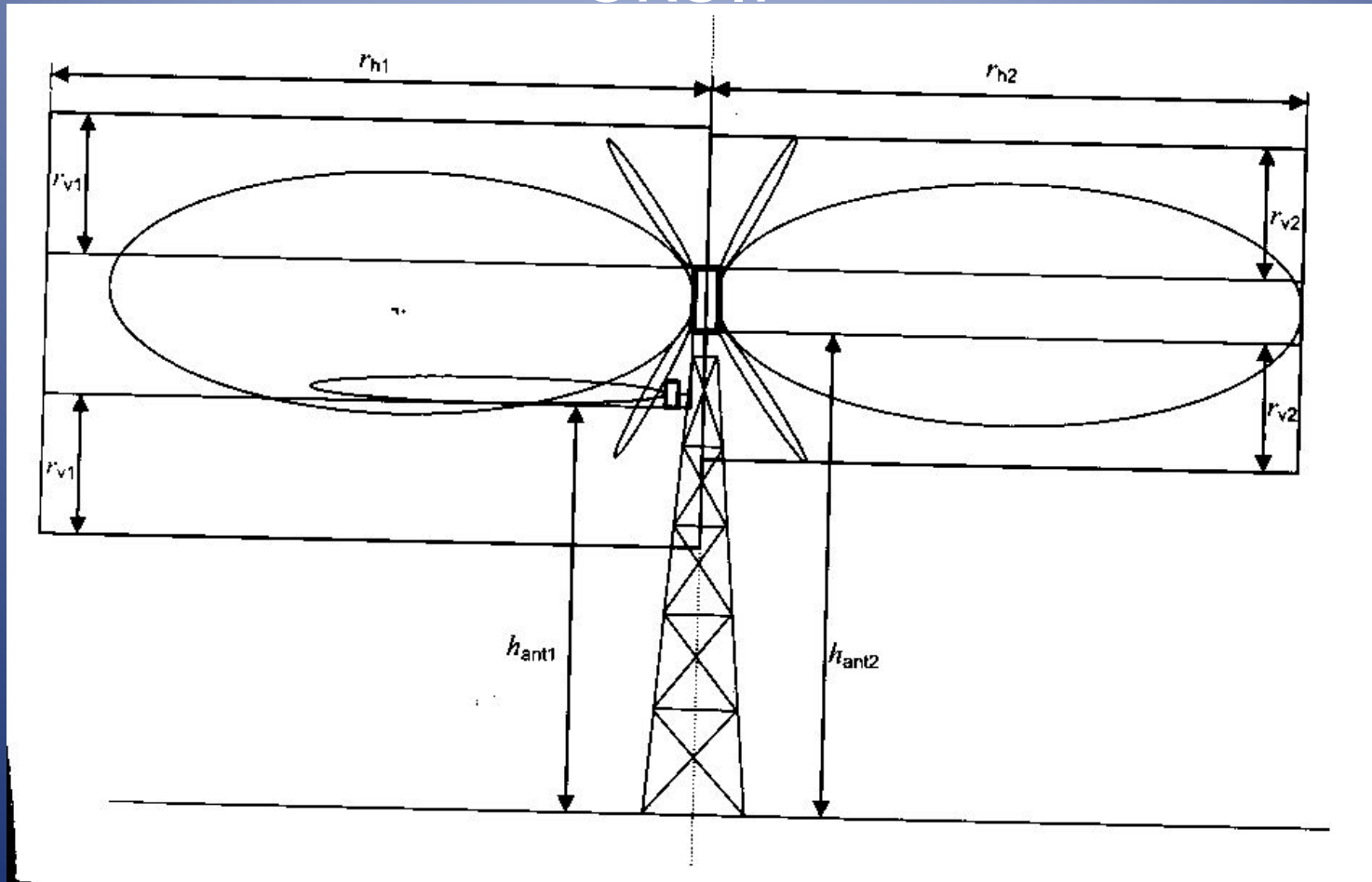
Technológia	Pracovné frekvenčné pásmo (MHz)	Počet nosných v jednom sektore	Maximálny výkon vyžiarený na jednej nosnej
LTE 800	791 – 821	1	cca. Max. 1500W
GSM 900	925 - 960	4	Max. 1000W
GSM 1800	1805 – 1880	4	Max. 1000 W
LTE 1800	1805 – 1880	2	Max. 1500 W
UMTS 2110	2110 - 2170	3	Max. 1000 W
LTE 2600	2570 - 2690	3	Max. 1500 W
LTE 3700	3600 - 3800	3	Max. 1000 W

Výnimočne je umiestňovaný na strechy vysielateľ DVBT s maximálnym vyžiareným výkonom 1500 W.

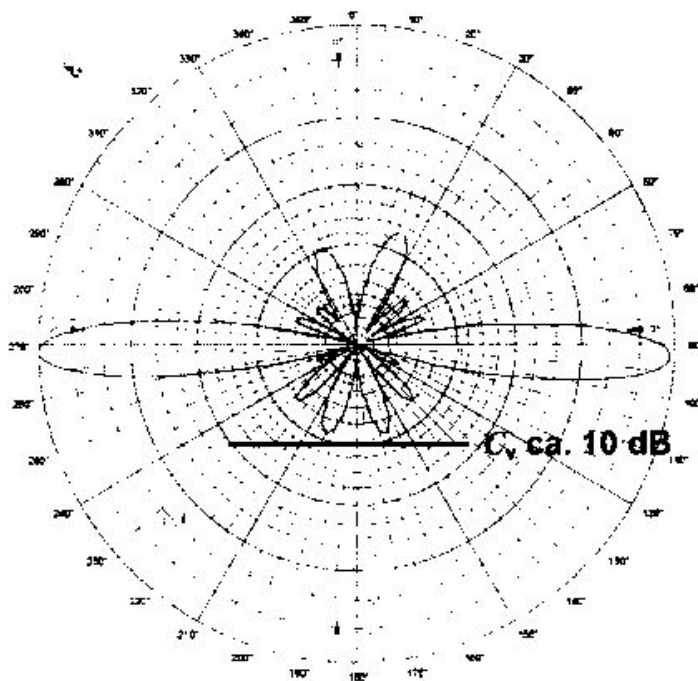
Výpočet a optimalizácia parametrov a umiestňovania ZS z pohľadu minimalizácie expozičného pomeru v miestach pobytu obyvateľstva v jej okolí

- Výpočtom intenzity elektromagnetického poľa v okolí ZS sa zaoberá norma EN 50 554.
- Výpočet uvažuje so smerovou charakteristikou použitých antén
- Smerové charakteristiky antén sú navrhované tak aby bol maximálne efektívne využívaný výstupný VF výkon ZS
- Smerová charakteristika je definovaná v horizontálnej a vertikálnej rovine
- V horizontálnej rovine je hlavný lalok v rozmedzí 30 – 70° vo vertikálnej rovine je čo najužší (maximálne 10°)

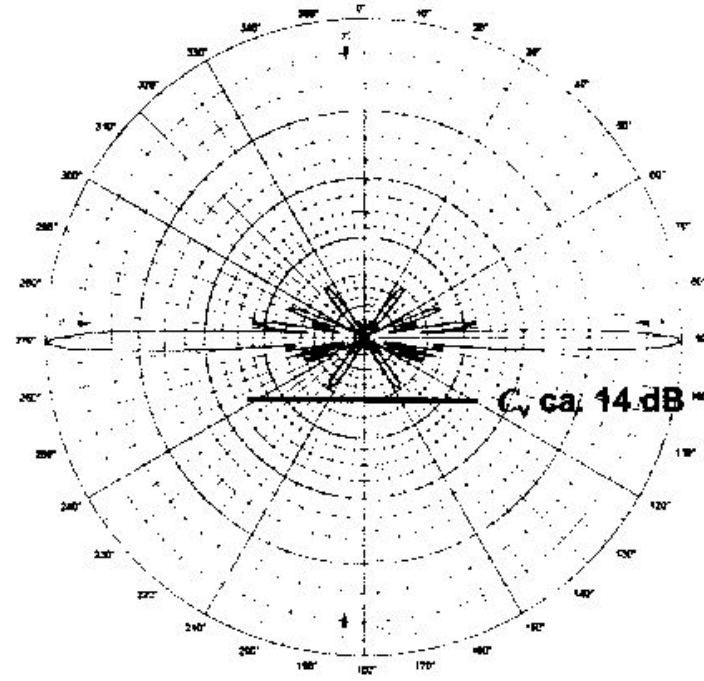
Smerová charakteristika antén a ich vplyv na expozíciu obyvateľov v ich okolí



Smerové charakteristiky vysielačích antén používaných v mobilných telekomunikačných sieťach



a) With directivity $C_h = 1$ & $C_v = 0,31$ (10 dB)



b) With directivity $C_h = 1$ & $C_v = 0,2$ (14 dB)

Parametre vysielacích antén

- Zisk v hlavnom laloku: 15 – 20 dBi
- Šírka hlavného laloku - H polarizácii – 30 – 70°
- - V polarizácia – 6 - 10°
- Potlačenie vedľajších lalokov- 10 – 25 dB
- Pre dozadné potlačenie – minimálne 20 dB

Výpočet vzdialenosti

- Pre výpočet intenzity poľa od jednotlivých zdrojov EMP v okolí antény v miestach v smere mimo jej hlavný vyžarovací lalok
- Pre zjednodušenie výpočtu bol zvolený tzv. koeficient smerovosti C_v pre vertikálny smer a C_h pre horizontálny smer. Tento koeficient definuje pomer vzdialenosti r_h a r_v pre rovnakú intenzitu poľa vo vertikálnom a horizontálnom smere
- Pre výpočet vzdialenosti R pre intenzitu E platí rovnica:
- $R = \sqrt{(30 \cdot ERP) / E} \cdot C_v$

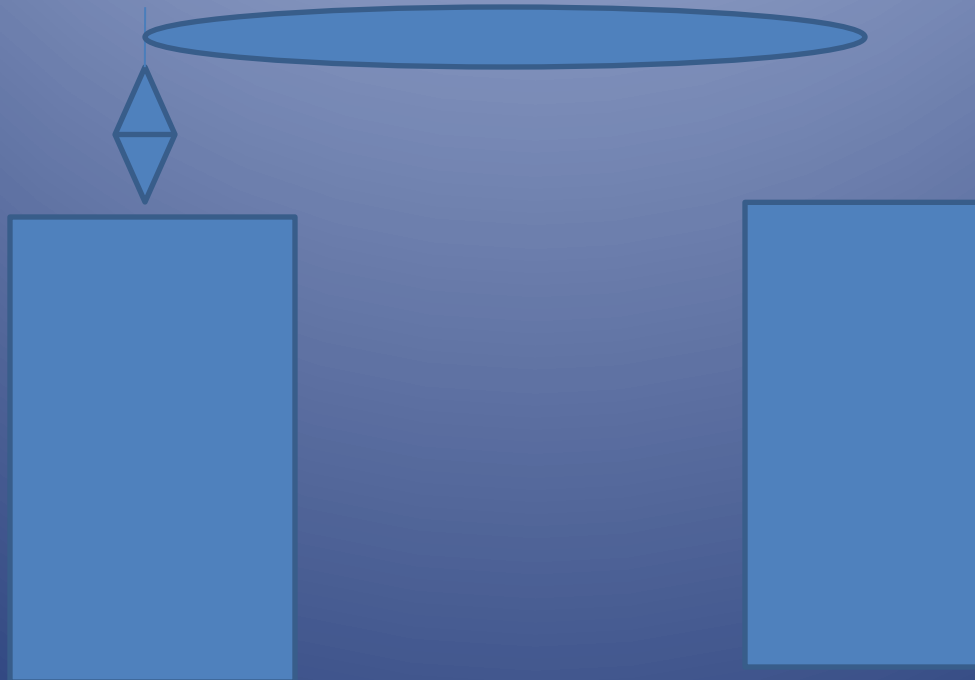
- Antény používané v mobilných sieťach majú C_v maximálne 0,3 (pri potlačení vedľajších vyžarovacích lalokov 10 dB). V mestských zástavbách sa používajú antény s väčším ziskom a tým aj vyššou smerovosťou vo vertikálnej rovine a C_v je menšie ako 0,2 z čoho vyplýva že intenzita poľa pod anténami je v rovnakej vzdialenosti viac ako 5 krát menšia než pred anténami.

Zásady umiestňovania anténových systémov

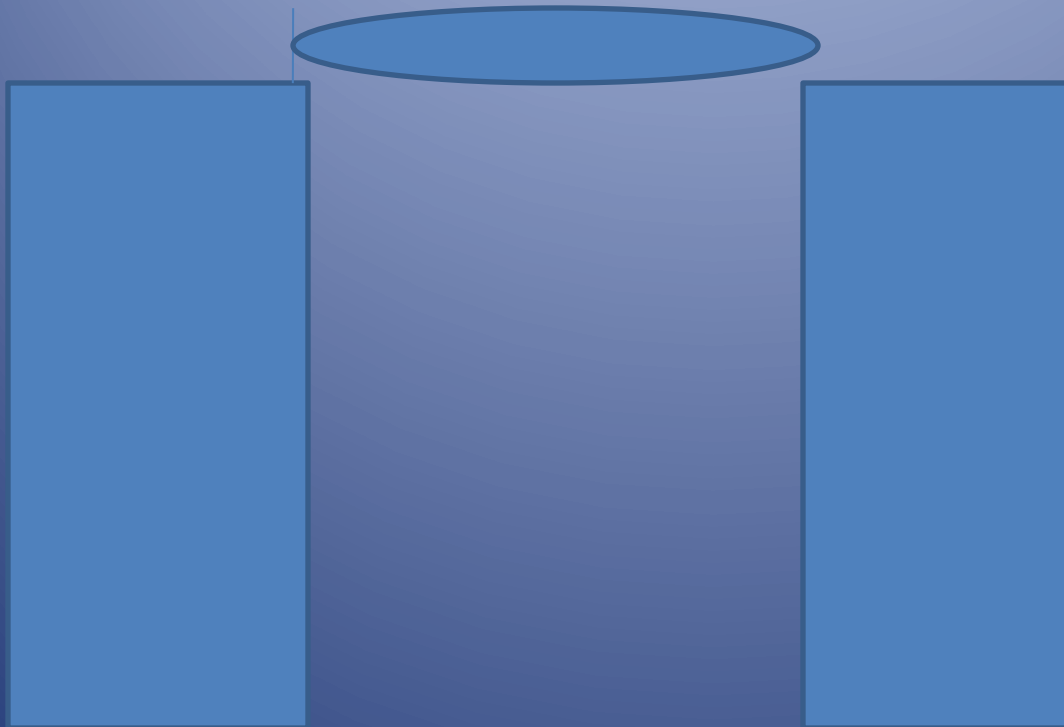
- Antény by sa mali nachádzať a smerovať tak aby hlavný lalok antén smeroval ponad blízke domy tak aby sa tieto domy nachádzali v smere vyžarovaného laloku antény kde je potlačenie minimálne 10 dB oproti maximálnemu zisku. Tým sa dosiahne že intenzita poľa v okolitých domoch nepresiahne 2 V/m. Táto úroveň je pred oknami okolitých domov.

Výpočet náklonu antén a výšky nad terénom

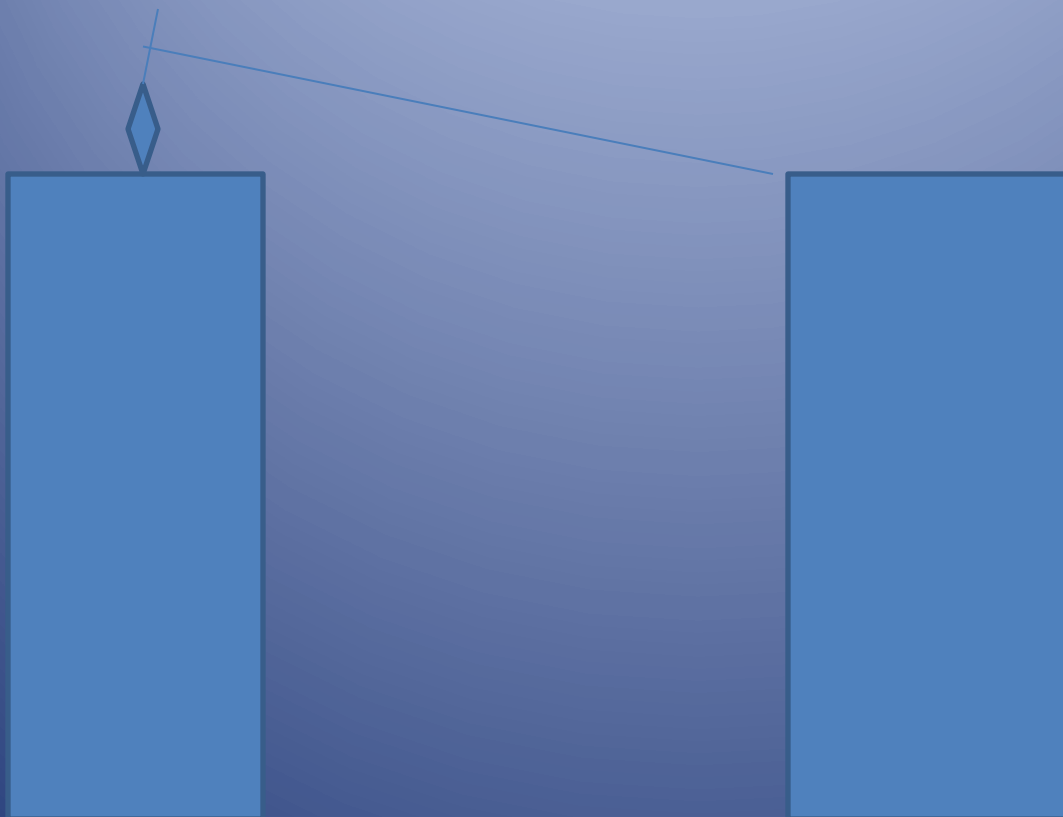
- Správna výška a náklon



Nízka pozícia antény



Nevhodný náklon



Príklady umiestnenia ZS na panelových domoch



Obrázky zobrazujú meranie na streche a na najvyššom poschodí domu, ktorý sa nachádza v smere hlavného vyžarovania antén ZS. Porovnaním sa zistilo, že namerané hodnoty na streche sú nižšie ako na balkóne v byte na najvyššom poschodí. Z čoho vyplýva, že antény majú nevhodný náklon tzv. tilt

Problematické umiestnenie anténových systémov





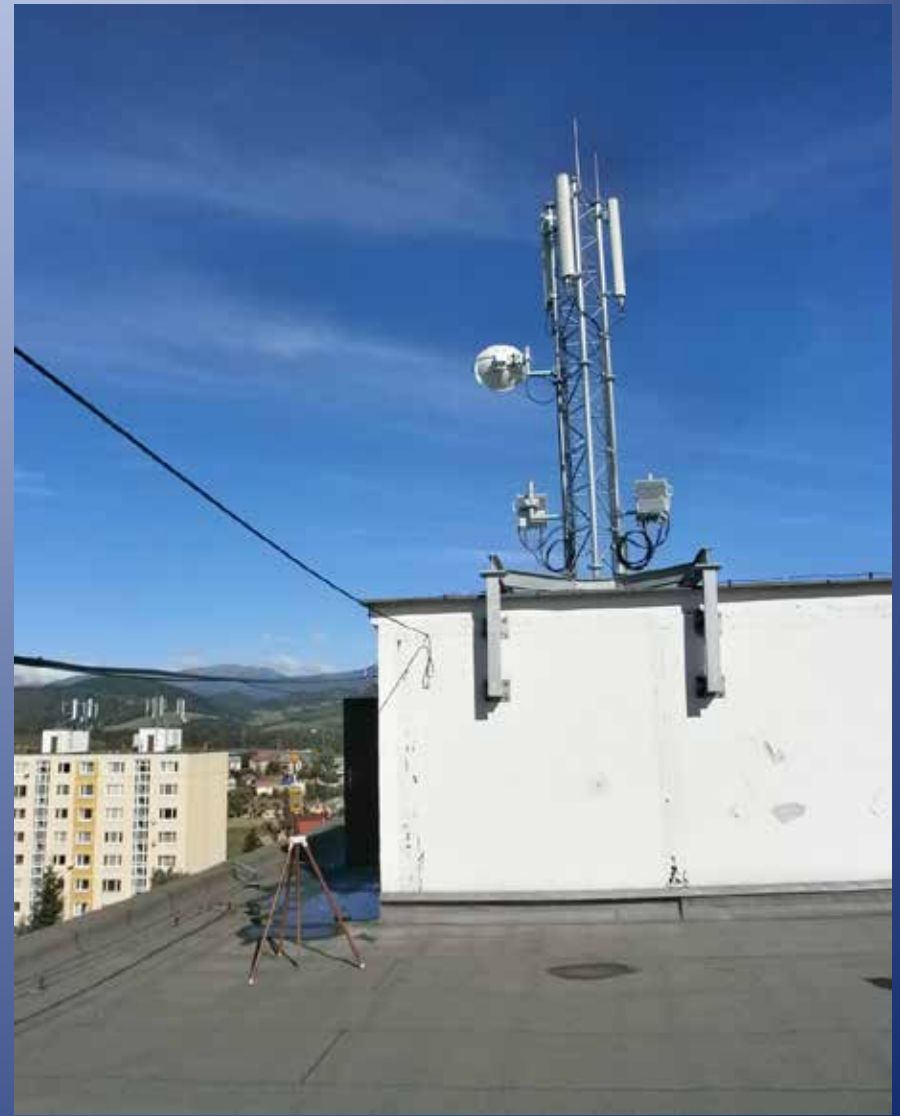
Optimálne umiestnenie antén z pohľadu minimalizácie expozície obyvateľstva



Minimalizácia orientáciou



a výškou



Minimalizácia náklonom antén - tiltom

Antény umiestnené na stožiaroch v blízkosti domov



Keď sú antén ZS umiestnené na stožiaroch v blízkosti miest s trvalým obyvateľstvom je vhodné použiť stožiare s výškou minimálne 40 m a v týchto prípadoch intenzita poľa v okolí stožiaru neprekročí $0,6 \text{ V/m}$

- Výpočet výšky hlavného laloku nad okolitými budovami
- $H = (r \cdot \operatorname{tng} \alpha) / 2$
- Kde
- α je uhol hlavného laloku vo vertikálnom smere
- r je vzdialenosť budovy od ZS

Postup pri posudzovaní expozície v okolí ZS mobilných operátorov

- Analýza miesta a určenie vhodného typu merania
- Analýza relevantných zdrojov EMF
- Zdroje s pracovnou frekvenciou nad 6 GHz sa zanedbávajú pretože používajú úzko smerové antény a nízky výkon dodávaný do antény
- Musia sa uvažovať všetky relevantné zdroje pracujúce v pásme 100 kHz – 6 GHz
- **Prípad A** – širokopásmové meranie. Tieto merania podávajú najrelevantnejšiu informáciu o reálnej expozícii obyvateľov. Vhodné je vykonávať počas dňa pri najvyššom zaťažení siete. Tiež sa používajú na rýchle určenie miesta maximálnej expozície alebo na určenie či nie je potrebné vykonať aj selektívne meranie – prípad B. Selektívne by sa mali vyšetrovať miesta kde je prekročená hranica 2V/m
- **Prípad B** – selektívne merania sa používa v prípadoch keď je potrebné podrobne vyšetriť príspevky od jednotlivých zdrojov a ak sa požaduje odhad poľa pri maximálnom zaťažení siete

Požiadavky na merací systém

- Širokopásmový merací systém sa skladá z meracej sondy a vyhodnocovacieho zariadenia
- Zmeraná úroveň predstavuje celkovú intenzitu poľa vo vnútri pracovného frekvenčného rozsahu sondy. Mal by pokrývať rozsah 100 kHz – 6 GHz. Minimálna meraná hodnota je 1 V/m. Výsledok merania je celková hodnota intenzity poľa získaná výkonovým súčtom príspevkov od všetkých relevantných zdrojov. Smerová charakteristika sondy musí byť všesmerová

Selektívny merací systém

- Minimálna citlivosť 0,05V/m
- Skladá sa z meracej kalibrovannej antény a meracieho prijímača
- Systém FM – priame meranie RBW 200 kHz
- DVBT – priame meranie s RBW 8 MHz alebo s funkciou integrácie výkonu v danom frekvenčnom pásme
- GSM 900 a 1800 MHz – priame meranie výkonu na BCCH –kanáloch (trvalo vysielané) s RBW 200 kHz maximálny možný príspevok sa získa extrapoláciou pre všetky kanále – maximálne 4 v jednom sektore
- UMTS – meraním výkonu v CPICH kanáloch alebo integráciou výkonu v celom UMTS kanále
- LTE- používa sa analyzátor LTE signálu. Zmerajú sa úrovne od referenčných signálov RS, S-SYNC, P-SYNC, PBCH alebo sa použije meranie na PBCH kanále s RBW 1 MHz a Zero Span. Nameraná hodnota sa následne upraví pre šírku kánala 10 MHz alebo 20 MHz

Používaná meracia technika



Pre širokopásmové meranie používame systém EMR 300 od firmy Narda, ktorá má sondu so všesmerovou charakteristikou s pracovným frekvenčným rozsahom 3 MHz – 18 GHz. Minimálna citlivosť 0,8 V/m. Systém funguje na základe výkonového sčítania úrovni na troch dipóloch orientovaných v troch na seba kolmých rovin. Sčítajú sa všetky zdroje v pracovnom frekvenčnom pásme



Na selektívne merania sa používa Spektrálny analyzátor FSH 13 od firmy Rohde Schwarz, ktorý má možnosť analyzátoru modulácie používanej v LTE, UMTS a GSM. Umožňuje priame meranie výkonu digitálnych systémov tak aby bolo možné extrapolovať výkon pri maximálnom kapacitnom zaťažení ZS. Spektrálny analyzátor sa používa s kalibrovanými mernými anténami.

Meracie antény



Smerová anténa 100 MHz – 1 GHz



Všesmerová anténa v pásme 100 MHz – 1 GHz

Meracie antény



Všesmerová anténa kalibrovaná v pásme 700 MHz – 3,7 GHz



Smerová anténa – horn pre pásmo 1 -18 GHz

Meranie na site



Meranie na site – vedľajší relevantný zdroj EMF



Výsledky merania na site

- Širokopásmové merania:
- Nameraná intenzita - 2,95 V/m
- Expozičný pomer - 0,0119
- Selektívne meranie:

Operátor	Systém	Počet nosných	Celková intenzita (V/m)	Expozičný pomer
Operátor 1	LTE 800	1	1	
Operátor 2	LTE 800	1	0,6	
Operátor 3	LTE 800	1	0,06	
Celková intenzita vo frekvenčnom pásme			1,16	0,0009
Operátor 1	GSM 900	3	2,2	
Operátor 2	GSM 900	3	1,5	
Celková intenzita vo frekvenčnom pásme			2,67	0,0042

Operátor	Systém	Počet nosných	Celková intenzita (V/m)	Expozičný pomer
Operátor 2	GSM 1800	3	1,1	
Operátor 1	LTE 1800	1	1,25	
Celková intenzita vo frekvenčnom pásme			1,66	0,00082
Operátor 2	UMTS 2100	3	0,45	
Operátor 1	UMTS 2100	2	0,8	
Celková intenzita vo frekvenčnom pásme			0,92	0,00023
Operátor 1	LTE 2700	1	3,16	
Operátor 2	LTE 2700	1	2,5	
Celková intenzita vo frekvenčnom pásme			4,02	0,0044
Σ			5,32	0,0105

Výpočet intenzity EMP v smere hlavných lalokov antén

Teoretický výpočet intenzity poľa per maximálne zaťaženie ZS v sektore

System	Počet nosných x výkon do antény (W)	Zisk antény (dBi)	Celkový vyžiarený výkon e.i.r.p.(W)
LTE 800	20	17	1000
GSM 900	4x20		4000
GSM 1800	3x20		3000
LTE 1800	20		1000
UMTS 2100	3x20		3000
LTE 2700	30		1500
Celkový vyžiarený výkon			

Intenzita poľa pre jednotlivé vzdialenosti od ZS

Pre výpočet intenzity poľa sa použije vzťah $E = (\sqrt{30 \times P}) / r$

P je celkový vyžiarený výkon

R je vzdialenosť od antény

Vzdialenosť (m)	50	100	200	300	400	500
Intenzita poľa (V/m)	12,7	6,3	3,1	2,1	1,6	1,1

Skutočné namerané hodnoty

V okolí ZS umiestnenej na stožiaroch – 0,3 – 1 V/m v závislosti na výške stožiaru a počtu operátorov a umiestnení antén.

Na streche bytových domov so ZS 1,5 – 6 V. V závislosti od výšky umiestnenia antén na streche domu

V bytoch pod anténami – maximálne 0,5 V/m – príspevok od ZS umiestnenej nad bytom

Pred oknami okolitých domov – v prípade, že hlavný lalok nezachytáva okolité domy maximálne 1 V/m

V prípade, že hlavný lalok zachytáva okolitý dom 2-6 V/m

Namerané hodnoty v bytoch v okolitých domoch závisí od úrovne intenzity pred oknami a materiálu okien a stien. Pri panelových domoch a plastových oknách dochádza až k 10 násobnej redukcii intenzity poľa.

Zhodnotenie poznatkov

Najväčší problém je na sídliskách a v husto zastavaných miestach

-Pri bunkových telekomunikačných systémoch sa ich kapacita môže zvyšovať dvomi spôsobmi:

- Zmenšovaním rozmerov buniek
- Zvyšovaním prevádzkovej kapacity buniek

Zmenšovanie buniek má za následok zvýšený náklon antén a tým smerovanie hlavných lalokov antén na bližšie domy a pri rovnakom vysielačom výkone ZS vyššie expozície. Je možné znížiť výstupný výkon ZS ale môže dôjsť k zhoršeniu príjmu v panelových domoch na nižších poschodiach

Zvýšenie prevádzkovej kapacity buniek má za následok zvýšenie vyžiareného VF výkonu a tým zvýšenie expozície obyvateľov

Zhodnotenie

Prevádzkovatelia mobilných sietí by mali minimalizovať zvýšenie expozície v okolitých miestach s trvalým pobytom obyvateľov a to :

Zvýšením pozície antén ZS nad okolitými budovami

Smerovaním hlavných vyžarovacích lalokov antén nad okolité budovy tak aby sa nachádzali mimo hlavného laloku smerovej charakteristike antén

Ďakujem za pozornosť