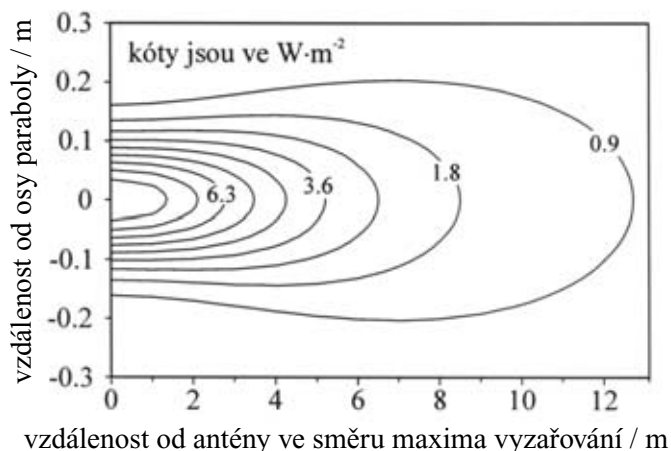


## Příloha č. 2

Na základnových stanicích mobilních operátorů se používají panelové antény, obstarávající spojení s mobilními telefony (frekvence 450 MHz, 900 MHz, 1800 MHz a 2100 MHz), a parabolické antény mikrovlnných spojů (frekvence od 7 GHz do 38 GHz), které slouží k bezdrátovému spojení mezi základnovými stanicemi.

### 1. Expoziční situace u parabolických antén

Výkony přiváděné na svorky zářičů parabolických antén jsou velmi nízké (0,03 W až 0,316 W). Při takto nízkých výkonech není ani v těsné blízkosti těchto antén překročena hustota zářivého toku  $10 \text{ W/m}^2$ , která je v nařízení vlády č. 1/2008 Sb. stanovena jako referenční pro ostatní osoby. Obr. 1 znázorňuje výsledek výpočtu vyzařování parabolické antény mikrovlnného spoje základnové stanice, pro který byl vybrán případ hygienicky nejméně příznivý, jaký by se vůbec mohl vyskytnout na základnových stanicích pro mobilní telefony: průměr disku 0,3 m, výkon zářiče 0,316 W (= 25 dBm), účinnost odrazu záření od povrchu disku rovná jedné, zastínění části svazku zářičem umístěným v ohnisku parabolického reflektoru bylo zanedbáno. Křivky se stejnou hustotou zářivého toku, vypočítané s použitím kvazioptické teorie šíření vlnového svazku, ukazují, že i při takto zvolených parametrech nepřekračuje vypočítaná hustota zářivého toku ani těsně u disku v ose svazku referenční hodnotu pro ostatní osoby. Tyto vysílače jsou z hygienického hlediska bezvýznamné i proto, že jejich antény musí být umístěny tak, aby se do vyzařovaného svazku nedostala žádná osoba a nepřerušila tak spojení mezi stanicemi.



Obr. 1 Grafické znázornění úrovní hustoty zářivého toku ve vyzařovaném svazku parabolické antény. Průměr disku je 0,3 m a výkon zářiče 0,316 W (25 dBm).

### 2. Expoziční situace u panelových antén

#### 2.1. Výpočet pro jednu anténu

##### 2.1.1. Expozice zaměstnanců

Při hodnocení expozice zaměstnanců v blízkosti panelových antén je výhodné používat nejvyšší přípustnou hodnotu pro měrný absorbovaný výkon (SAR). To v posledních letech umožnily dostupné softwarové simulátory elektromagnetického pole schopné vzít v úvahu jak strukturu elektromagnetického pole v blízkosti zdroje záření, tak heterogenní vlastnosti tkáně lidského těla. Takové velmi náročné výpočty byly pro antény používané v pásmech GSM 900, GSM 1800 a UMTS 2100 provedeny například v [1]. Výsledky těchto výpočtů byly pro frekvence z uvedených pásem využity k sestavení jednoduchých tabulek č. 1 a č. 2. V nich se v příslušném sloupci odečte k výkonu  $P$  přiváděnému na svorky antény vzdálenost  $R$ , která určuje rozměry oblasti (obr. 2 a obr. 3), v níž by mohly být překročeny nejvyšší přípustné hodnoty pro zaměstnance. Tabulka

č. 1 platí pro antény s třídecibellovou šířkou svazku v horizontální rovině nepřekračující 60°, tabulka č. 2 platí pro antény s třídecibellovou šířkou svazku větší než 60°. (Jde o úhel, jehož ramena vyznačují směry, v kterých klesne zářivost antény na jednu polovinu zářivosti v maximu. V České republice se používají převážně antény s šířkou svazku větší než 60°.) Přes zjednodušení vedoucí nutně k větším rozměrům oblasti s možností překročení, než jsou skutečné, vycházejí přípustné vzdálenosti od antény značně menší, než kdyby se k hodnocení expozice použily referenční hodnoty. Využití nejvyšších přípustných hodnot znamená tedy menší omezení pro práci zaměstnanců u antén (většinou není potřebné vysílače vypínat). Do prostoru za anténou je vyzařování používaných panelových antén zanedbatelné. Je-li tedy v prostoru za posuzovanou anténou elektromagnetické pole generované jinými zdroji (anténami) zanedbatelné, připouští se přímý časově neomezený kontakt zaměstnance se zadní stranou antény.

Tabulka č. 1 Panelové antény s třídecibellovou šířkou svazku menší než 60°

$P$ [W]	0 – 40	40 – 60	60 – 80	80 – 100	100 – 120	120 – 140	140 – 160	160 – 180
$R$ [m]	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00

Tabulka č. 2 Panelové antény s třídecibellovou šířkou svazku větší než 60°

$P$ [W]	0 – 70	70 – 120	120 – 180	180 – 250	250 – 300	300 – 350	350 – 430	430 – 500
$R$ [m]	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00

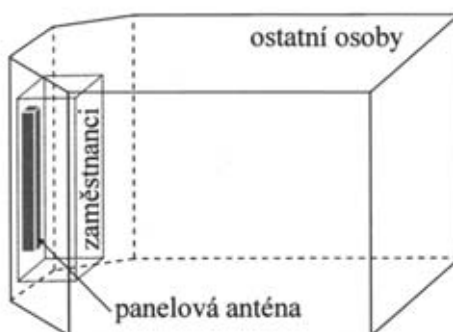
Vysokofrekvenční výkony přiváděné k jedné anténě zpravidla nepřekračují 100 W, takže oblast možného překročení nejvyšší přípustné hodnoty (SAR) pro zaměstnance má pro osamělou anténu malé rozměry. Vyšší výkony uvedené v tabulkách č. 1 a č. 2 se vyskytnou v situacích, kdy příspěvky dalších antén umístěných na stejném stanovišti nejsou v místě posuzované antény zanedbatelné. Pravidla hodnocení expoziční situace pro dvě a více antén na stanovišti jsou uvedena v části 3 této přílohy k metodickému návodu.

K překročení nejvyšší přípustné hodnoty uvnitř oblasti tvaru hranolu, znázorněné na obr. 2 a obr. 3 (její hranice jsou dále označovány jako „hranice shody“) nemusí dojít, jestliže pracovník v ní stráví dobu kratší než šest minut. Je-li například vysokofrekvenční výkon přiváděný na svorky antény rovný 150 W (což je pro jednu anténu přehnaně vysoká hodnota), nepřekročí dvouminutový pobyt nejvyšší přípustnou hodnotu kdekoli vně oblasti určené pro třikrát menší vyzařovaný výkon, v daném případě tedy pro výkon rovný 50 W. Toho je často možné využít, protože práce těsně před anténou trvá zpravidla jen krátce.

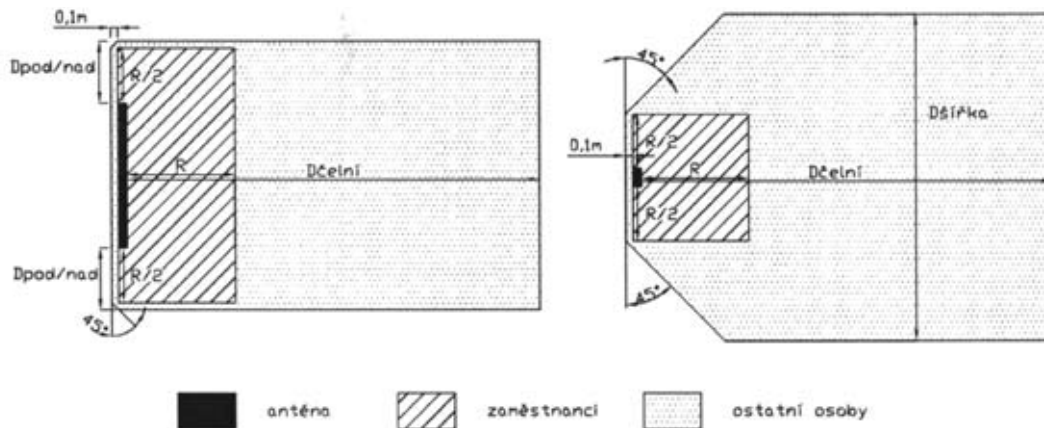
### 2.1.2. Expozice ostatních osob

Vyhodnocování expoziční situace se v tomto případě provádí podle referenčních hodnot. Hranice oblasti (hranice shody), vně které není referenční hodnota pro ostatní osoby překročena, je téměř vždy natolik vzdálená od antény, že pro její určení je možné s dostatečnou přesností použít buď vztah (2) pro bodový zdroj, nebo vztah (3) pro zdroj ve tvaru svislé úsečky, označovaný zpravidla jako válcová aproximace.

Pro hranice oblasti s možným překročením referenčních hodnot pro ostatní osoby je zvolen geometrický tvar omezený rovinnými stěnami se skosenými svislými hranami (obr. 2 a obr. 3).



Obr. 2 Axonometrie oblastí shody



Obr. 3 Pohled z boku (vlevo) a půdorys (vpravo) oblastí možného překročení nejvyšších přípustných hodnot s označením rozměrových parametrů hranice shody.

Parametr  $D^{\text{čelní}}$  (obr. 3) hranice shody pro ostatní osoby se určí ze vztahu

$$D^{\text{čelní}} = \min(D^{\text{čelní FF}}, D^{\text{čelní NF}}), \quad (1)$$

kde

$$D^{\text{čelní FF}} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot S_{\text{limit}}}} \quad (2)$$

je hranice shody pro velkou vzdálenost od antény (aproximace bodového zdroje; FF je zkratka Far Field), a

$$D^{\text{čelní NF}} = \frac{180 \cdot P}{\pi \cdot S_{\text{limit}} \cdot L \cdot \varphi_{3\text{dB}}} \quad (3)$$

je vzdálenost hranice shody vypočtená pro zdroj aproximovaný úsečkou (válcová aproximace vyzařovacího pole; NF – zkratka pro Near Field). Ve vzorcích pro  $D^{\text{čelní}}$  je  $L$  je svislý rozměr antény v metrech,  $P$  výkon ve wattech přiváděný na svorky antény,  $G$  je zisk antény ve směru maxima vyzařování,  $S_{\text{limit}}$  je referenční hodnota pro hustotu zářivého toku pro ostatní osoby ve wattech na metr čtverečný stanovená pro danou frekvenci v nařízení vlády č. 1/2008 Sb. a  $\varphi_{3\text{dB}}$  je šířka svazku vyzařování antény v horizontální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti antény ve směru maxima. Šířka svazku  $\varphi_{3\text{dB}}$  je ve stupních.

Ostatní rozměry hranice shody pro ostatní osoby jsou odvozeny od hlavního rozměru  $D^{\text{čelní}}$ . Šířka hranice shody před anténou (obr. 3) je určena vztahem:

$$D^{\text{šířka}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\varphi_{3\text{dB}}}{2}\right) \cdot \frac{D^{\text{čelní}}}{Q} \quad (4)$$

Koeficient  $Q$  nabývá hodnoty  $\sqrt{2}$  nebo 2 podle toho, zda hodnota  $D^{\text{čelní}}$  byla minimální podle vzorce (2) pro bodový zdroj – pak má  $Q$  hodnotu  $\sqrt{2}$ , nebo podle vzorce (3) pro válcovou aproximaci – pak má  $Q$  hodnotu 2. Parametr  $D^{\text{pod/nad}}$  definuje hranici shody pod anténou a nad ní:

$$D^{\text{pod/nad}} = \max\left(\frac{R}{2} + \Delta; D^{\text{čelní}} \cdot \sin\left(\phi_{\text{tilt}} + \frac{\vartheta_{3\text{dB}}}{2}\right) - \frac{L}{2}\right) \quad (5)$$

kde  $\phi_{\text{tilt}}$  je celkový mechanický a elektrický sklon hlavního svazku ve stupních a  $\vartheta_{3\text{dB}}$  je úhlová šířka svazku ve svislé rovině ve stupních, kterou je možné položit maximální používané hodnotě  $\vartheta_{3\text{dB}} = 14^\circ$  (nejhorší možný případ). Hodnota parametru  $R$  pro výkon  $P$  se najde v tabulce č. 1 nebo v tabulce č. 2. Hodnota parametru  $\Delta = 0,1$  metru.

Stejně jako při hodnocení expozice podle nejvyšší přípustné hodnoty používaném pro zaměstnance je i při hodnocení expozice podle referenčních hodnot pro ostatní osoby možné využít časového průměrování přes dobu šesti minut.

### 3. Výpočet pro více antén na jednom stanovišti

Pro určení expoziční situace na základnové stanici stačí uvažovat jen ty antény GSM/UMTS, jejichž vzdálenost od posuzované antény je menší nebo rovna 30 m. Příspěvek od vzdálenějších antén GSM/UMTS se pohybuje v řádu několika procent, což je možné při přípustné chybě 1 dB (viz nařízení vlády č. 1/2008 Sb., příloha č. 1) zanedbat. Zabýváme se pouze příspěvkem antén GSM a UMTS. Elektromagnetické pozadí pocházející od jiných zdrojů, například od televizních a rozhlasových vysílačů, není do výpočtu zahrnuto a jeho příspěvek k expoziční situaci je třeba posuzovat individuálně.

Níže uvedená pravidla zjednodušují vyzařovací charakteristiku antény na tři oblasti, přičemž počítají s tím, že šířka svazku v horizontální rovině nepřekračuje 90°, jak je to běžné v České republice. Pro antény s šířkou svazku větší než 90° není popsán postup použitelný.

#### 3.1. Expozice zaměstnanců

Při zjišťování, jak se u posuzované antény změní hranice shody v důsledku vyzařování ostatních antén, se pro každou anténu na stanovišti nejdříve vypočítají hranice shody bez uvažování příspěvků od ostatních antén. Pak postupně u všech antén na stanovišti zjišťujeme, jak se v místě právě posuzované antény, kterou v dalším označujeme vždy písmenem X, změní expoziční situace započtením vyzařování ostatních antén, které označujeme písmenem Y. K posouzení, zda příspěvek není zanedbatelný, slouží diagram uvedený na obr. 4, který každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient  $M_{Yk}$ , rovný buď jedné nebo nule. Celkový výkon, který bude použit pro výpočet hranice shody antény X je pak dán vztahem

$$P_X^{\text{celk}} = P_X + \sum_k P_{Yk} M_{Yk}, \quad (6)$$

kde  $P_X$  je výkon antény X a  $P_{Yk}$  jsou výkony všech antén, které na hranici shody antény X mohou mít vliv. V tabulce č. 1 nebo v tabulce č. 2 se pak pro výkon  $P_X^{\text{celk}}$  najde hodnota parametru  $R_X^{\text{celk}}$  antény X.

Je-li mezi uvažovanými anténami (anténou X a jí příslušnými anténami Y) aspoň jedna, která má úhlovou šířku menší než 60° a koeficient  $M_{Yk}$  je u ní rovný jedné, použije se k určení parametru  $R_X^{\text{celk}}$  tabulka č. 1. Jinak se použije tabulka č. 2. Stejným způsobem se pokračuje při určování parametru  $R_X^{\text{celk}}$  pro všechny ostatní antény. Tak se postupně určí hranice shody pro zaměstnance u všech antén na stanovišti.

V případě, kdy jedna anténa vysílá více vysílacími systémy (např. GSM900 a GSM1800 nebo jinou kombinací), se postupuje jako kdyby se jednalo o dvě antény umístěné ve stejném bodě (obr. 4).

#### 3.2 Expozice ostatních osob

Pro všechny antény se nejdříve určí parametry  $D^{\text{čelní}}$  hranice shody ze vzorců uvedených v oddílu 2 bez započtení příspěvků od ostatních antén. Analogicky s kapitolou 3.1 se každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient  $K_{Yi}$ , rovný buď 1, 0,5 nebo 0. Přiřazení koeficientu  $K_{Yi}$  se provádí pomocí diagramu na obr. 5. Pro každou z antén X se pak ze vzorce (7) vypočítá výsledný parametr  $D_X^{\text{čelní celk}}$  hranice shody změněný započtením příspěvků ostatních antén na stanovišti:

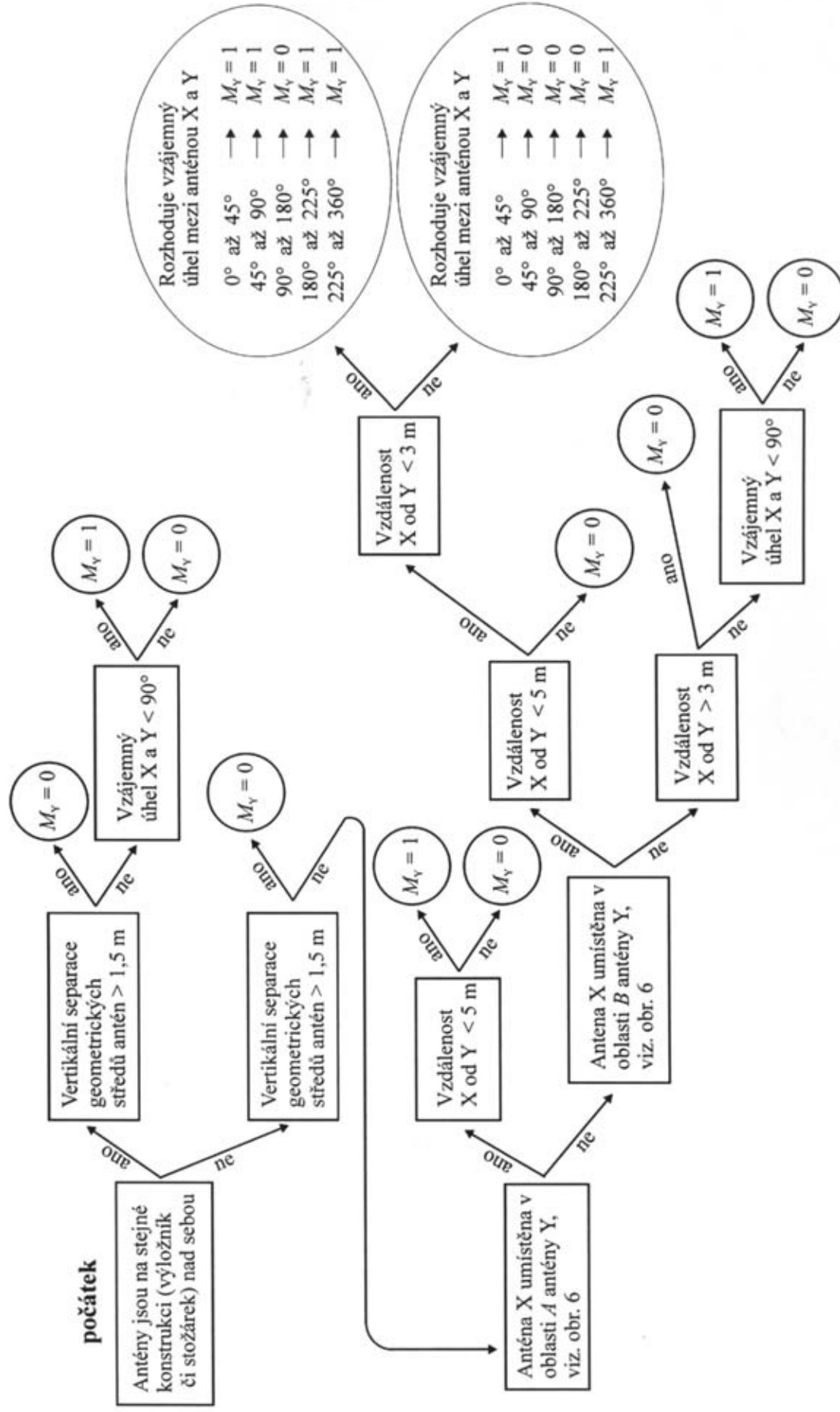
$$D_X^{\text{čelní celk}} = \min \left( \sqrt{(D_X^{\text{čelní FF}})^2 + \sum_i K_{Yi} (D_{Yi}^{\text{čelní FF}})^2}; D_X^{\text{čelní NF}} + \sum_i K_{Yi} D_{Yi}^{\text{čelní NF}} \right), \quad (7)$$

kde  $D_X^{\text{čelní FF}}$ ,  $D_X^{\text{čelní NF}}$ ,  $D_Y^{\text{čelní FF}}$ ,  $D_Y^{\text{čelní NF}}$  jsou hranice shody, určené pro jednotlivé antény X a Y z rovnice (2) (aproximace bodového zdroje) a z rovnice (3) (válcová aproximace).

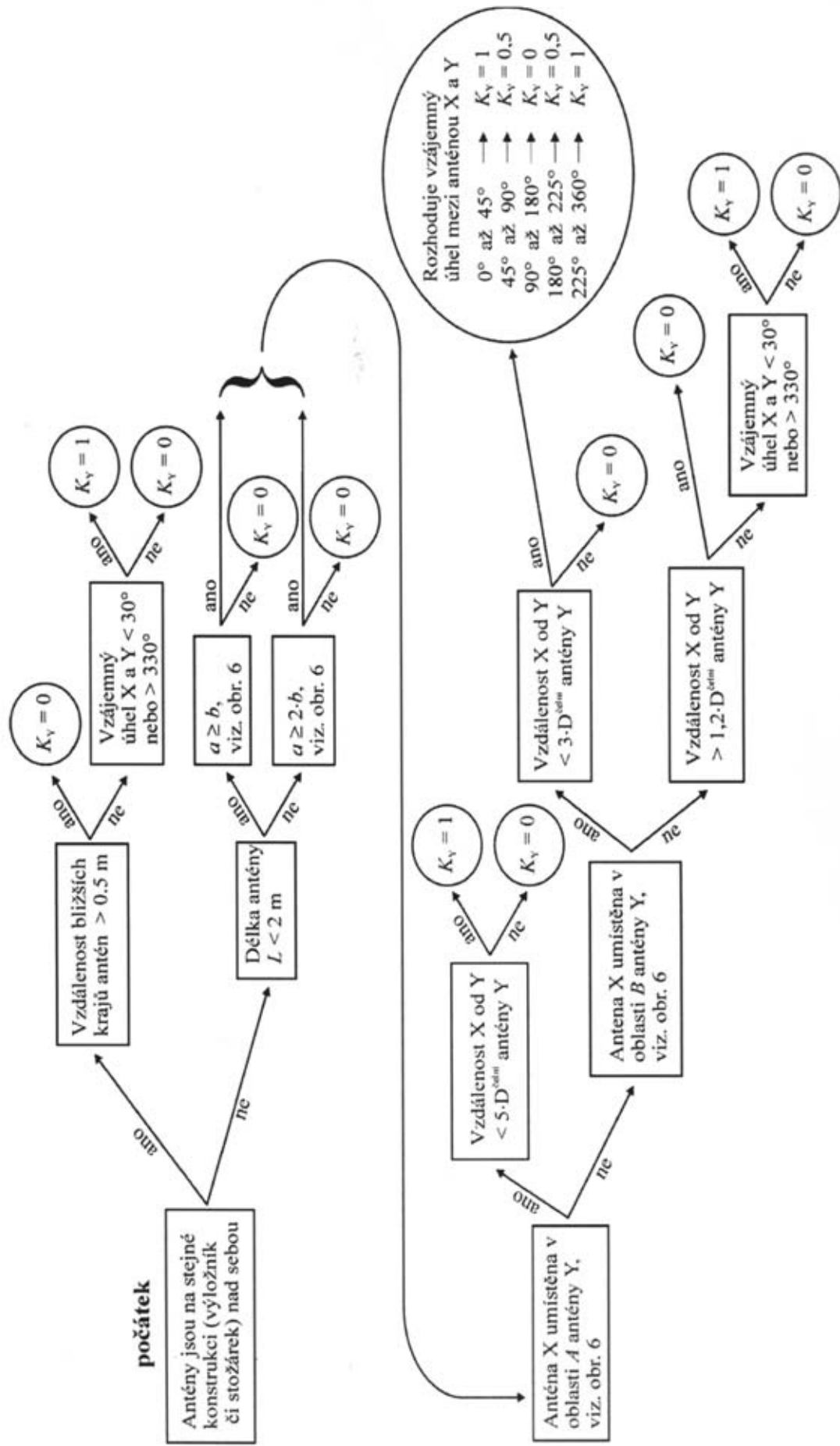
Po výpočtu  $D_X^{\text{čelní celk}}$  u antény X je třeba znovu vypočítat všechny rozměry hranice shody pro ostatní osoby (jsou dále označovány indexem „celk“) podle následujících vztahů

$$D_X^{\text{šířka celk}} = 2 \cdot \sin \left( \frac{\varphi_{3dB}}{2} \right) \cdot \frac{D_X^{\text{čelní celk}}}{Q}, \quad (8)$$

$$D_X^{\text{pod/nad celk}} = \max \left( \frac{R_X^{\text{celk}}}{2} + \Delta; D_X^{\text{čelní celk}} \cdot \sin \left( \phi_{\text{tilt}} + \frac{\vartheta_{3dB}}{2} \right) - \frac{L}{2} \right), \quad (9)$$



Obr. 4 Diagram, který každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient  $M_Y$



Obr. 5 Diagram, který každé dvojici antén X a Y přiřadí koeficient  $K_v$

kde koeficient  $Q$  nabývá hodnoty  $\sqrt{2}$ , pokud byla hodnota  $D^{\text{čelní celk}}$  vypočtena pomocí součtu čtverců  $D^{\text{čelní FF}}$ , nebo hodnoty 2, pokud byla hodnota  $D^{\text{čelní celk}}$  vypočtena pomocí prostého součtu  $D^{\text{čelní NF}}$ . Veličina  $R^{\text{celk}}$  v (9) je celková hranice shody pro zaměstnance zjištěná pro danou anténu a úhel  $\vartheta_{3\text{dB}}$  je třidecibelová šířka hlavního vyzařovaného svazku ve svislé rovině ve stupních, který je možné položit rovný maximální používané hodnotě  $\vartheta_{3\text{dB}} = 14^\circ$  (nejhorší možný případ). Hodnota parametru  $\Delta = 0,1$  metru.  $\phi_{\text{tilt}}$  je celkový mechanický a elektrický sklon hlavního svazku ve stupních.

Celková hranice shody definovaná parametry  $D^{\text{čelní celk}}$ ,  $D^{\text{šířka celk}}$ ,  $D^{\text{pod/nad celk}}$  a  $R^{\text{celk}}$  má tvar vyznačený na obr. 2 a 3, přičemž parametry s dodatečným indexem „celk“ odpovídají parametrům bez tohoto indexu na obr. 3.

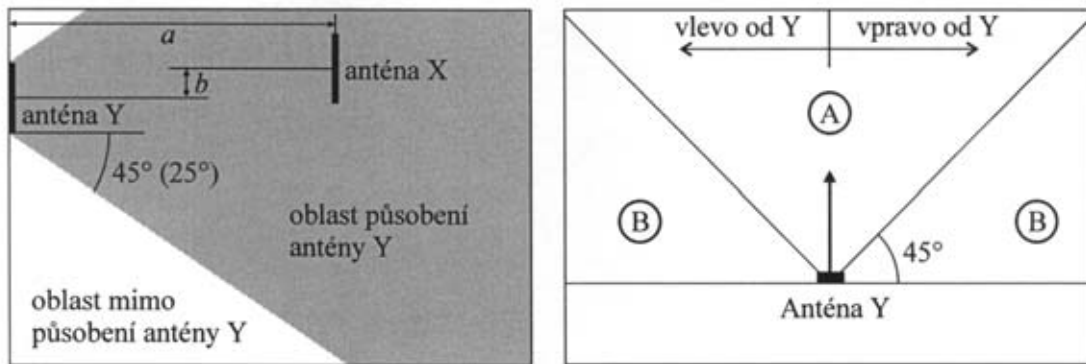
V případě, kdy jedna anténa vysílá více vysílacími systémy (např. GSM900 a GSM1800 nebo jinou kombinací), se postupuje jako kdyby se jednalo o dvě antény umístěné ve stejném bodě.

### 3.3 Poznámky k použití diagramů z obr. 4 a obr. 5

K použití diagramů z obr. 4 a 5 je nutné konstatovat, že není-li uvedeno jinak, myslí se vzdáleností antén vzdálenost jejich geometrických středů. Pokud je v diagramech použit pojem azimut, je tím myšlen úhel v rozsahu  $0^\circ$  až  $360^\circ$ , který se měří ve směru hodinových ručiček, tj. od severu k východu. Pojem vzájemný úhel antén, použitý v diagramech, je možné nadefinovat následujícím způsobem:

- Je-li anténa X nalevo od antény Y, viz obr. 6, pak je vzájemný úhel roven rozdílu azimutu antény Y a azimutu antény X.
- Je-li anténa X napravo od antény Y, viz obr. 6, pak je vzájemný úhel roven rozdílu azimutu antény X a azimutu antény Y.

V případě, kdy vyjde vzájemný úhel podle výše uvedené definice záporný, je nutné k výsledku přičíst  $360^\circ$ .



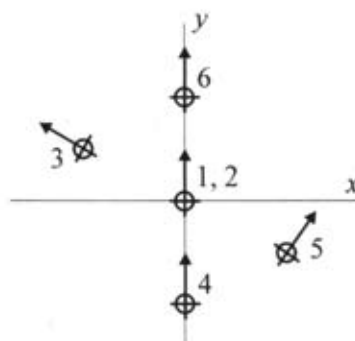
Obr. 6 Náčrtky k vysvětlení některých pojmů v diagramech na obr. 4 a obr. 5.

## 4. Příklad výpočtu

Pro ilustraci výše uvedeného postupu bude dále uveden numerický příklad. Předpokládejme, že základnová stanice je tvořena šesti panelovými anténami, a že všechny ostatní zdroje neionizujícího záření v okolí stanice jsou z expozičního hlediska nevýznamné. Umístění a parametry antén jsou uvedeny v tabulce č. 3 a zakresleny v obr. 7, odkud je patrné, že antény č. 1 a 2 jsou ve skutečnosti jedinou dvoupásmovou anténou.

Tabulka č. 3 Základní data o panelových anténách umístěných na základnové stanici.

označení antény	x (m)	y (m)	pásmo (MHz)	výkon (W)	azimut antény (°)	zisk antény (dBi)	délka antény (m)	výška nad terénem (m)	horizontální šířka svazku 3dB (°)	vertikální šířka svazku 3dB (°)	tilt (°)
1	0	0	900	40	0	18	1,9	20	65	14	0
2	0	0	1800	40	0	18	1,9	20	65	14	0
3	-4	2	900	40	300	18	1,9	20	65	14	0
4	0	-4	900	40	0	18	1,9	20	65	14	0
5	4	-2	900	40	35	18	1,9	20	65	14	0
6	0	4	900	40	0	18	1,9	20	65	14	0



Obr. 7 Náčrt rozmístění antén

Prvním krokem při hodnocení expozice je výpočet hranic shody, dle kapitoly 2, pro každou anténu bez uvažování příspěvků od ostatních antén. Výsledky tohoto výpočtu jsou souhrnně uvedeny v tabulce č. 4. Při použití vztahů (2) a (3) byla použita referenční hodnota pro hustotu zářivého toku  $S_{lim} = 4,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  ( $9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) pro pásmo 900 MHz (1800 MHz). Z tabulky je také patrné, že pro výpočet parametrů  $D_{šířka}$  a  $D_{pod/nad}$  byla použita hodnota  $D_{čelní NF}$ , která je u všech antén menší než  $D_{čelní FF}$ .

Tabulka č. 4 Rozměry hranic shody – počítány pouze osamocené antény

Ant.	$D_{čelní FF}$ (m)	$D_{čelní NF}$ (m)	$D_{šířka}$ (m)	$D_{pod/nad}$ (m)	R (m)
1	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
2	4,7	2,1	1,1	0,4	0,5
3	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
4	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
5	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5
6	6,7	4,1	2,2	0,4	0,5



Pro zohlednění ostatních antén na stanovišti a pro určení výsledných hranic shody je dále nutné určit, s pomocí pravidel v kapitole 3, koeficienty  $K_Y$  a  $M_Y$  pro všechny dvojice antén. Hodnoty koeficientů jsou souhrnně uvedeny v tabulkách č. 5 a č. 6.

Tabulka č. 5 koeficienty  $K_Y$

		Y					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
X	1.		1	0	1	0	1
	2.	1		0	1	0	1
	3.	0,5	0,5		1	0	0
	4.	1	0	0		0	0
	5.	0	0	0	1		0
	6.	1	1	0	1	1	

Tabulka č. 6 koeficienty  $M_Y$

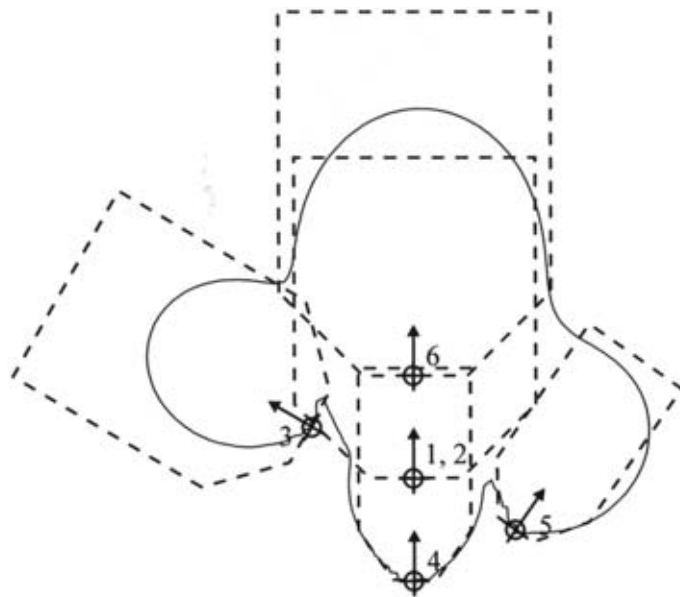
		Y					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
X	1.		1	0	1	0	0
	2.	1		0	1	0	0
	3.	0	0		0	0	0
	4.	0	0	0		0	0
	5.	0	0	0	1		0
	6.	1	1	0	0	0	

Při znalosti tabulek č. 5 a č. 6 pak s použitím vztahů (6) a (7) snadno získáme výsledné hodnoty parametru hranice shody u všech antén, které jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7 Výsledné rozměry hranic shody – zohledněna přítomnost všech antén

Ant.	$D_{\text{čelní celk}} \text{ (m)}$	$D_{\text{šířka celk}} \text{ (m)}$	$D_{\text{pod/nad celk}} \text{ (m)}$	$R_{\text{celk}} \text{ (m)}$
1	12.5	9.5	0.6	1.0
2	12.5	9.5	0.6	1.0
3	11.1	8.4	0.4	0.5
4	8.3	4.4	0.4	0.5
5	8.3	4.4	0.4	1.0
6	14.2	10.8	0.8	1.0

Pro větší názornost jsou hranice shody pro ostatní osoby z tabulky č. 7 zobrazeny graficky na obr. 8. Obrázek je v měřítku a jsou v něm vyznačeny pozice a směry vyzařování antén. V obrázku je dále tenkou plnou čarou zobrazena křivočará hranice, na které hustota zářivého toku, vypočtená metodou popsanou v kapitole II.2.a metodického pokynu, dosáhne právě referenční hodnoty pro ostatní osoby. Ze společného zobrazení je patrné, že metoda uvedená v této příloze velikost oblastí možného překročení nadhodnocuje. Pro lepší přehlednost nejsou v obr. 8 (str. 46) zakresleny hranice shody pro zaměstnance. Z jejich jednoduchého tvaru, viz. obr. 2 a 3, je však zřejmé, že zakrývají jen bezprostřední okolí antén.



Obr. 8 Grafické znázornění hranic shody dle tabulky č. 7.  
Zobrazen je horizontální řez jdoucí geometrickým středem antén.

## 5. Reference

[1] V. Hansen, A. Bitz, J. Streckert, A. El Ouardi: A numerical approach for efficient calculation of human exposure in front of base station antennas. Faculty of electrical, information and media engineering, University of Wuppertal, Germany.