

INFORMACE NRL č. 4/2000

Výstavba sítě pro třetího operátora mobilních telefonů s frekvencí z pásma 1800 MHz a plnění požadavků vyhlášky č. 408/90 Sb.

V souvislosti s výstavbou základnových stanic pro mobilní telefony s frekvencí z pásma 1800 MHz se ve veřejnosti i v institucích pečujících o zdraví obyvatelstva vynořují obavy, zda přidání dalších zdrojů vysokofrekvenčního pole k těm, které již existují a tvoří poměrně hustou síť, nepovede k situaci, v které bude obtížné nebo nemožné plnit požadavky vyhlášky č. 408/90 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivým působením elektromagnetického záření, vydané ministerstvem zdravotnictví v říjnu 1990. Je známo, že přípustné hodnoty stanovené touto vyhláškou jsou při dlouhodobé (trvalé) expozici obyvatelstva až o dva řády přísnější než přípustné hodnoty stanovené nebo prakticky používané v západoevropských státech a v USA. Nelze proto předem vyloučit, že stavby, prováděné způsobem přípustným v jiných zemích, budou přípustné hodnoty naší hygienické normy překračovat. Úkolem informace NRL č. 4 je tuto otázku podrobněji posoudit. Informace se nezabývá hodnocením elektromagnetického pole mobilních telefonů – to bude předmětem některé z dalších informací NRL.

Vysokofrekvenční výkony, kterými se napájí antény základnových stanic, jsou ve srovnání s výkony televizních a rozhlasových vysílačů stokrát až stotisíckrát menší. Typická hodnota vysokofrekvenčního výkonu přiváděná k anténě základnové stanice (umístěné zpravidla na střeše nebo na věži) je 10 wattů; méně často se používá hodnoty dvojnásobné, vyšší výkony jsou výjimečné. Zvyšováním výkonu totiž nelze v tomto případě mnoho získat, protože pokrytí území signálem není omezeno výkonem vysílače základnové stanice, nýbrž výkonem mobilní stanice (mobilního telefonu). Ten nepřekračuje u zařízení "držených v ruce" nikdy dva wattů a jeho anténka musí vyzařovat všesměrově. Přitom vlna vysílaná mobilním telefonem k přijímací anténě základnové stanice vykonává stejně dlouhou cestu jako vlna od antény základnové stanice k uživateli mobilního telefonu, pouze směr je opačný.

Pro mobilní telefony a jejich obslužné stanice jsou vyhrazena dvě pásma, jedno v okolí 900 MHz (odpovídající délka elektromagnetické vlny je v tomto případě 0,33 metru) a druhé v okolí 1800 MHz (vlnová délka 0,17 metru). Starší soustava používající frekvenci z pásma kolem 450 MHz s frekvenční modulací, která umožňovala přenášet jednu nosnou vlnou jen jediný hovor, je postupně vyřazována. Systémy GSM (původně zkratka slov Groupe Spécial Mobile, později interpretovaná jako zkratka slov Global System Mobil) pracující v pásmech 900 MHz a 1800 MHz mají modulaci impulzní (digitální) a umožňují na jedné nosné vlně přenášet osm, v připravované nové verzi dokonce 16 hovorů současně.

Vysílače mobilních stanic vysílají na podpásmu s nižší frekvencí (890 MHz až 915 MHz, případně 1710 MHz až 1780 MHz), jejich přijímače jsou naladěny na frekvenci vyšší (935 MHz až 960 MHz, případně 1805 MHz až 1880 MHz) vysílanou základnovými stanicemi.

Spojení mezi základnovou stanicí a dalšími jednotkami sítě se uskutečňuje většinou mikrovlnnými spoji s parabolickými anténami. Jejich vysílače pracují s nepatrnými vysokofrekvenčními výkony (zpravidla nepřekračujícími desetinu wattu). Antény těchto spojů vysílají úzké málo rozbíhavé svazky elektromagnetických vln, a aby spolehlivě fungovaly, nesmějí se mezi anténu (parabolu) mikrovlnného vysílače a anténu přijímací stanice dostat žádné překážky, tedy ani lidé. Mikrovlnné spoje nemají při hodnocení plnění vyhlášky 408/90 Sb. prakticky žádný význam.

Na malé vzdálenosti se nyní pro spojení mezi základnovými stanicemi a ústřednami začínají používat i pojítka vyzařující infračervené záření. Na kratší vzdálenost se používají zdroje s polovodičovými diodami. Zařízení určená pro větší vzdálenost (do několika kilometrů) mají zabudován laser (třídy IIIb) a pro jejich bezpečný provoz je nutné dodržet požadavky příslušné směrnice (Hygienické předpisy svazek 53/1982, Směrnice 61 o hygienických zásadách pro práce s lasery). Infračervená pojítka jsou levnější než mikrovlnné spoje a jejich instalace je jednodušší, selhávají však při silné mlze nebo v hustém dešti.

Zcela přesný výpočet intenzity elektromagnetického pole v bezprostřední blízkosti vysílacích antén základnových stanic není prakticky proveditelný. Koherentní vlny (například vlna odražená od zdi nebo od země a primární vlna) spolu při setkání interferují a vytvářejí velmi složité prostorové útvary (nehomogenní pole). V něm se mohou těsně vedle sebe vyskytovat místa s intenzitou elektrického pole téměř nulovou a místa s intenzitou dvojnásobnou i vyšší. S takovými situacemi je možné se občas setkat v blízkosti antén při měření u zdí, u velkých kovových ploch nebo u blízkých vodivých svisle orientovaných předmětů. Výpočty pro hygienické zprávy však interferenční vlnové jevy ignorují a v místech, kde se může uplatnit odražená vlna, pouze sčítají výkonové veličiny – tedy hustoty zářivého toku. Vlnová interference se neuplatní mezi vlnami přicházejícími z nezávislých zdrojů – výsledná výkonová hustota (hustota zářivého toku) je v takových místech dána prostým součtem výkonových hustot vln od jednotlivých zdrojů.

Na rozdíl od nehomogenního prostorového rozložení intenzity elektromagnetického pole ovlivněné interferencí je možné základní parametry elektromagnetického záření v okolí antén určit poměrně snadno. Ty pak většinou stačí k posouzení, v kterých místech by mohla být překročena některá z přípustných hodnot stanovená citovanou vyhláškou a kde je to vyloučené.

Hygienické zprávy, které se dosud ke každému novému projektu základnové stanice pro spojení s mobilními telefony přikládají, jsou téměř vždy zpracovány tak, že získané numerické hodnoty jsou značně větší, než jaké se pak zjistí měřením. Je to proto, že autoři zpráv si ulehčují práci například paušálním započítáváním odrazů (přidávají nejméně 40 %, často však i 100 % k výkonové hustotě přímé vlny) i v případech, kdy se odrazy zcela zřetelně nemohou uplatnit, a někdy připočítávají různé “bezpečnostní” přírážky i k přípustným hodnotám. Výsledky výpočtů srovnávají pak často jen s přípustnou hodnotou stanovenou pro trvalý (čtyřicetihodinový denní) pobyt obyvatelstva i pro místa, kde se obyvatelé čtyřicet hodin denně (počítá se týdenní průměr !) zcela zřetelně zdržovat nemohou. Dodržováním podmínek vycházejících z takto přehnaně “bezpečných” výpočtů se v průběhu let, kdy se základnové stanice pro frekvenci 450 MHz a 900 MHz budují, vytvořila značná rezerva pro případné přidávání dalších vysílačů do stejných nebo blízkých míst.

Vlastnosti vysílačů a vln pro novou síť základnových stanic s frekvencí z pásma 1800 MHz se od vysílačů a vln pro síť s frekvencí 900 MHz liší málo. Tím, že je délka vlny menší (17 cm proti 33 cm), je možné vytvořit anténami stejných rozměrů užší vlnové svazky, což se využívá především u úhlu rozevření ve vertikální rovině, který je u některých antén z tohoto pásma jen $4,5^\circ - 6^\circ$. U antén pro pásmo 1800 MHz se proto dosahuje lepší směrovosti a tím i většího zisku než u antén pro pásmo 900 MHz. Ostrá směrovanost vlnového svazku ve vertikální rovině umožňuje se snáze vyhnout vyzařování do míst, kde se mohou trvale zdržovat lidé – například do oken bytů na protější straně ulice.

Přiložené ilustrační grafy jsou počítány pro nejčastěji používaný vysokofrekvenční výkon 10 W na svorkách jedné antény. Vzdálenosti pro n -násobný vysokofrekvenční výkon

přiváděný k anténě se získají vynásobením vzdáleností odmocninou z n . Při použití výkonu 20 W v anténě místo 10 W to znamená zvětšit všechny vzdálenosti vypočítané pro výkon 10 W o 41 %. Výkony vyšší než 20 W na svorkách jedné antény se používají jen výjimečně.

K rychlé orientaci a často i k jednoznačnému posouzení, zda záření vysílané anténou může v místech, kde se vyskytují lidé, překročit příslušnou přípustnou hodnotu nebo zda může v posuzovaném místě představovat významné pozadí, poslouží vztah pro maximální vzdálenost L_{\max} od antény, v které výkonová hustota vlny klesne právě na příslušnou přípustnou hodnotu S_p :

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{P \cdot 10^{\text{dBi}/10}}{4\pi S_p}}$$

Dosadí-li se vysokofrekvenční výkon P na svorkách antény ve wattech a příslušná přípustná výkonová hustota S_p ve wattech na čtverečný metr, vyjde vzdálenost L_{\max} v metrech. Výraz dBi označuje zisk antény v decibelech proti isotropnímu zdroji záření a platí pro směr maxima vyzařování. U směrových antén pro pásmo 1800 MHz se běžně dosahuje zisku 18 dBi, a vzdálenost L_{\max} pro pokles hustoty zářivého toku na hodnotu $0,05 \text{ W/m}^2$ vychází pro 10 W v anténě a zisk 18 dBi rovná 32 metrům. Hustota zářivého toku S klesá s druhou mocninou vzdálenosti r od antény, takže ve směru maximálního vyzařování je

$$S(r) = \frac{P \cdot 10^{\text{dBi}/10}}{4\pi r^2}$$

Pro uvedený příklad je ve vzdálenosti 100 metrů od antény ve směru maximálního vyzařování výkonová hustota jen $0,00502 \text{ W/m}^2$, tedy desetkrát nižší než nejpřísnější přípustná hodnota $0,05 \text{ W/m}^2$ stanovená ve vyhlášce 408/90 Sb. pro trvalý pobyt obyvatelstva v poli s frekvencí vyšší než 300 MHz.

Poznámka: V hygienických zprávách se často vyskytuje termín “vyzářený výkon, efektivně vyzářený výkon, efektivně isotropně vyzářený výkon, maximální vyzářený výkon” nebo jeho zkratka EIRP, EIRP_{\max} , ERP, ERP_{\max} . V inženýrské praxi se tak označuje součin výkonu P na svorkách antény a zisku $G = 10^{\text{dBi}/10}$ antény. Tento součin ani uvedené názvy nepatří k uznávaným fyzikálním veličinám a vede k častým nedorozuměním, zčásti i proto, že se vyjadřuje ve wattech. Uznávaná fyzikální veličina pro charakterizování záření antény je zářivost I . Vyjadřuje se ve wattech na steradián a ve směru maxima vyzařování antény je dána výrazem

$$I_{\max} = \frac{P \cdot 10^{\text{dBi}/10}}{4\pi}$$

Zářivost do směrů odchylných od maxima vyzařování je samozřejmě menší a její pokles popisuje směrová charakteristika antény. Hustota zářivého toku se ze zářivosti vypočte dělením druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Zářivost je ovšem charakteristika použitelná přesně jen pro bodový zdroj. V malé vzdálenosti od zdroje přestává platit kvadratická závislost hustoty zářivého toku na vzdálenosti a vyzařování antény je bližší záření plošného zdroje. Vzhledem k vlnové interferenci mezi vyzařováním jednotlivých dipólů, z kterých je směrová anténa sestavena, je pole v blízkosti antény silně nehomogenní, což nelze popsat výpočty vycházejícími ze směrového diagramu. Těsně u antény (blíže než vlnová délka) má elektromagnetické pole složky, které nepřispívají k vyzařování a v této oblasti (nazývané reaktivní) není vektor elektrického pole kolmý k vektoru magnetického pole a neplatí mezi nimi vztahy jako v postupné elektromagnetické vlně. Pro výpočet výkonové hustoty S z intenzity elektrického pole E nelze pak použít známý vztah

$$S = E^2 / 377$$

platný pro postupnou vlnu (intenzita elektrického pole E je ve voltech na metr, hustota zářivého toku ve wattech na čtverečný metr).

Následující grafy znázorňují typické situace.

Obrázek 1 slouží k rychlému stanovení vzdáleností pro různý zisk antény při vyzařovaném vysokofrekvenčním výkonu 10 W pro různé přípustné výkonové hustoty.

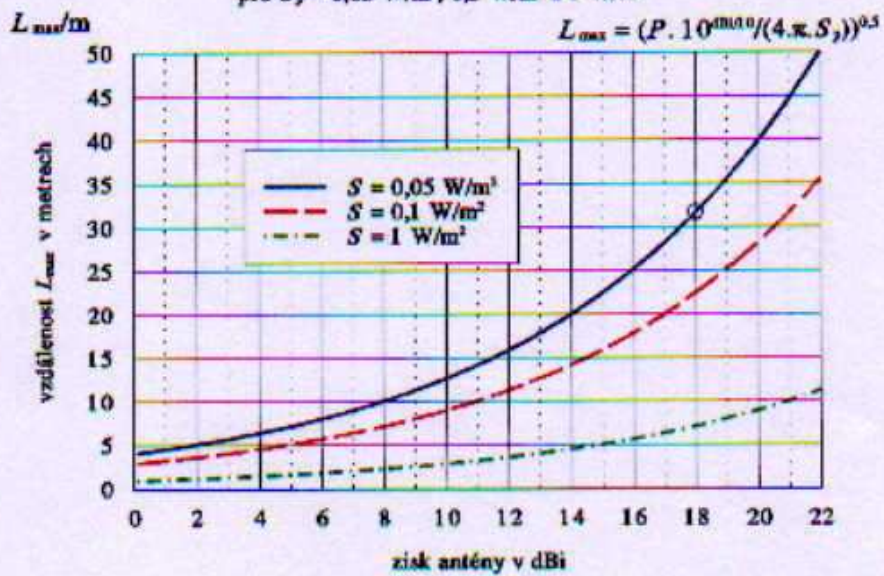
Obrázek 2 ukazuje “vrstevnice” pro výkonovou hustotu $0,05 \text{ W/m}^2$ v horizontální rovině a ve vertikálním řezu procházejícím osou maxima vyzařování typické antény pro pásmo 1800 MHz při vysokofrekvenčním výkonu 10 W na svorkách. Soustředění vyzařovaného výkonu do úzké oblasti je z diagramu dobře patrné. Ani ve směru maxima vyzařování nebudou v tomto případě blízké budovy vyzařovaným vlnovým svazkem zasaženy, jsou-li jejich střechy a okna byť jen o několik málo metrů níž než anténa. Grafy byly vypočteny z experimentálních údajů o anténách dodávaných výrobcem.

Grafy na obr. 3 znázorňují vrstevnice výsledné výkonové hustoty získané sečtením výkonových hustot vyzařovaných třemi stejnými anténami umístěnými spodními okraji 2,6 metru nad střechou a namířenými symetricky do tří směrů. Malý rozdíl v průběhu vrstevnic v horním a dolním grafu dokládá bezvýznamnost odrazů od podlahy střechy v místech blízkých anténě: vrstevnice v horním obrázku jsou vypočteny bez odrazů pro výšku 1,6 metru (přibližně v úrovni hlavy stojícího člověka) nad rovinou střechy, na dolním obrázku je pro tutéž výšku nad rovinou střechy připočtena výkonová hustota způsobená úplným odrazem vyzařované vlny od roviny střechy. Souřadnice, výška a sklon antén pro daný příklad jsou uvedeny u grafů. Teprve ve větších vzdálenostech, kde ovšem má vlna již malou intenzitu, je patrný vliv odrazů od vodorovné roviny na průběh vrstevnic. V těchto vzdálenostech však se už odrážející vodorovná rovina (střecha) zpravidla nevyskytuje a vlna se šíří volným prostorem bez odrazů. Z grafů je rovněž patrné, že současné vyzařování tří antén do tří směrů lišících se o 120° vykřívá poměrně dobře směry ležící uprostřed mezi směry maximálního vyzařování, avšak maximální vzdálenost, v které vlna klesne na hodnotu $0,05 \text{ W/m}^2$, se přidáním dalších dvou antén prakticky nezmění (zvětší se o několik málo procent).

Dva grafy na obr. 4 ilustrují vliv “pozadí” vytvořeného zdrojem vzdáleným 78 metrů od antén základnové stanice. (Údaje o umístění antén stanice, označení typů, náklonů a přiváděných vysokofrekvenčních výkonů jsou v obrázcích u grafů.) Zdroj umístěný v pravém rohu čtverce dole má 2,2 krát větší zářivost (100 W / sr) ve srovnání se zářivostí antén základnové stanice a jeho vyzařování je všesměrové. Simuluje tak nejhorší možný případ blízkého silnějšího vysílače s anténou se stejným ziskem ($17,5 \text{ dBi}$) jako mají směrové antény posuzované základnové stanice, avšak napájenou vysokofrekvenčním výkonem 22 wattů a zářící přesně směrem k anténám základnové stanice. Přes svůj vyšší výkon se čtvrtý zdroj v místech blízkých anténám základnové stanice již neuplatní.

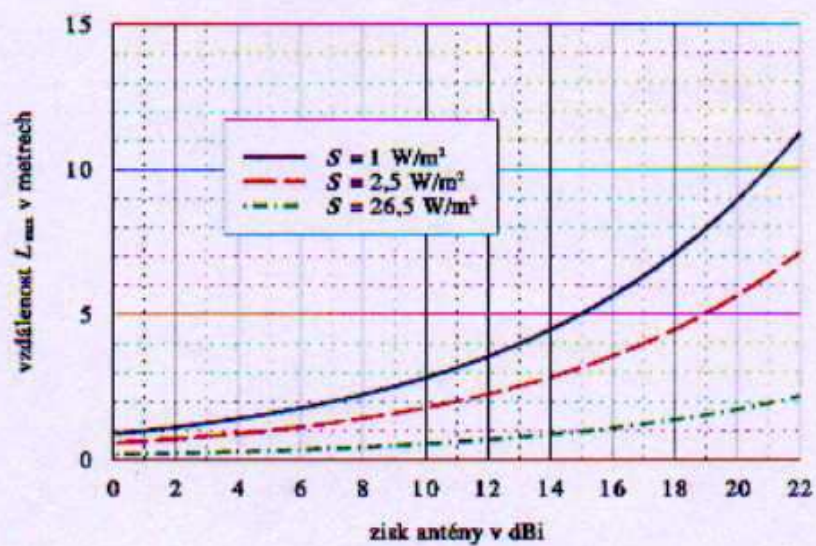
Dosah vlny; $P = 10\text{ W}$

pro $S_1 = 0,05\text{ W/m}^2$, $0,1\text{ W/m}^2$ a 1 W/m^2

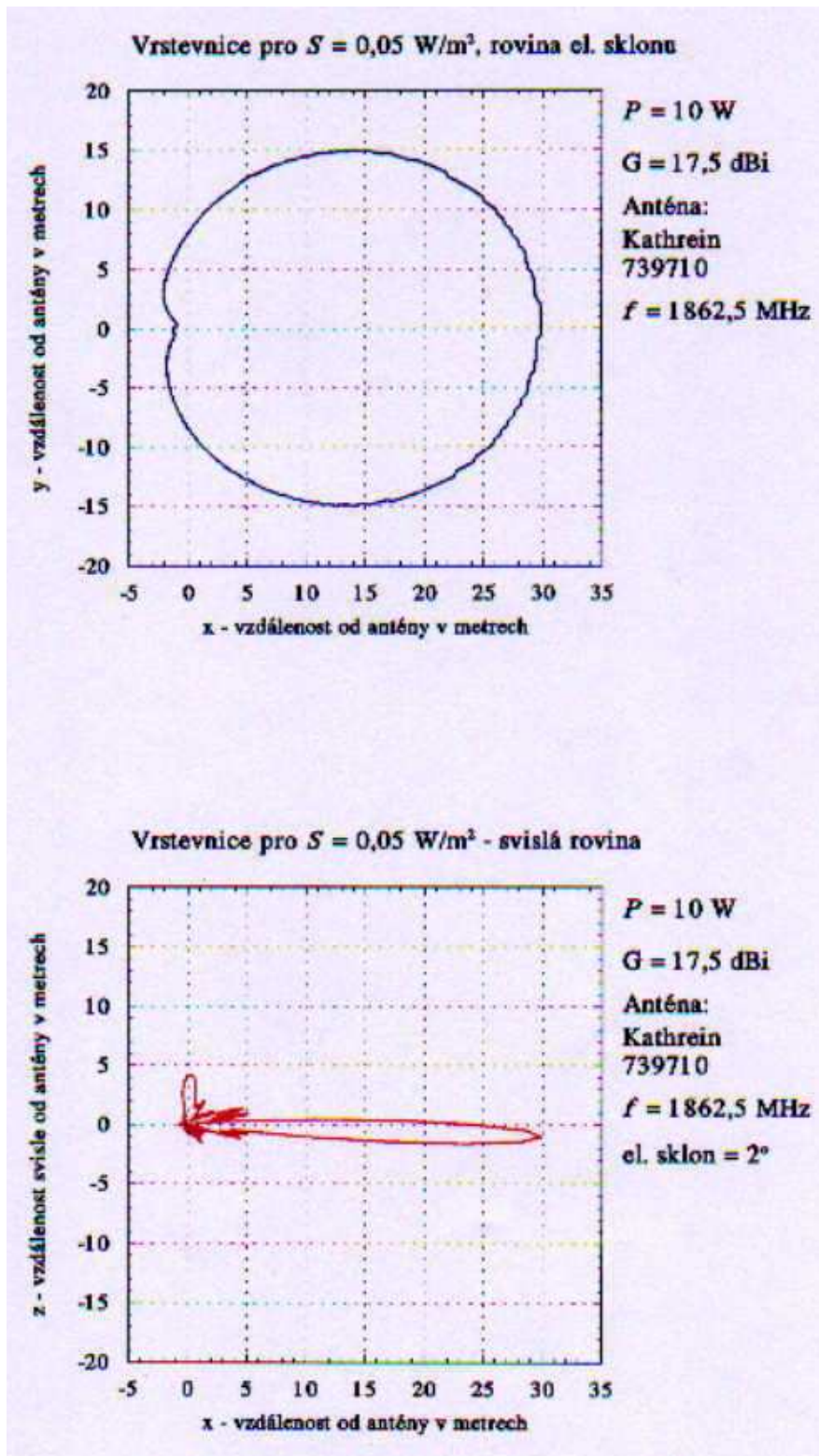


Dosah vlny; $P = 10\text{ W}$

pro $S = 1\text{ W/m}^2$, $2,5\text{ W/m}^2$ a $26,5\text{ W/m}^2$



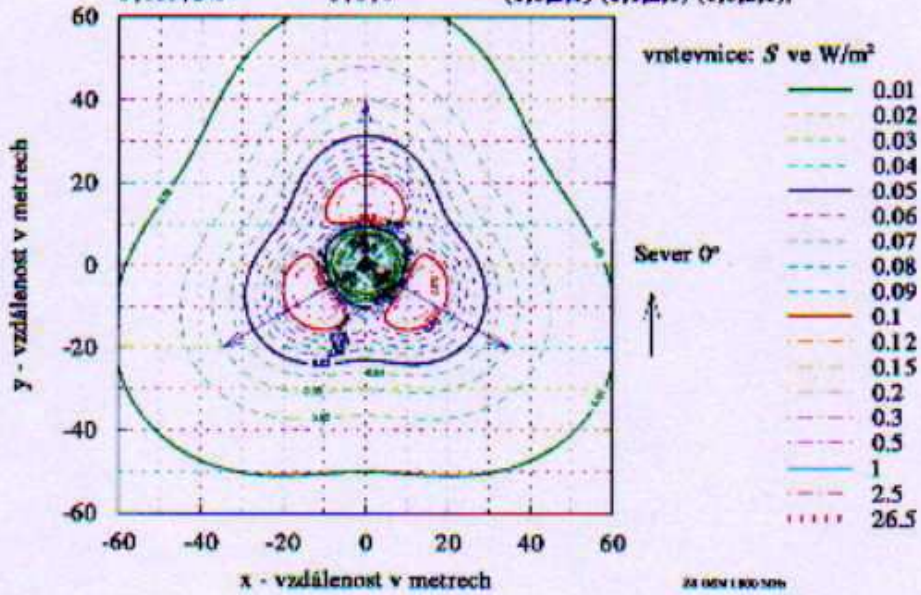
Obr. 1



Obr. 2

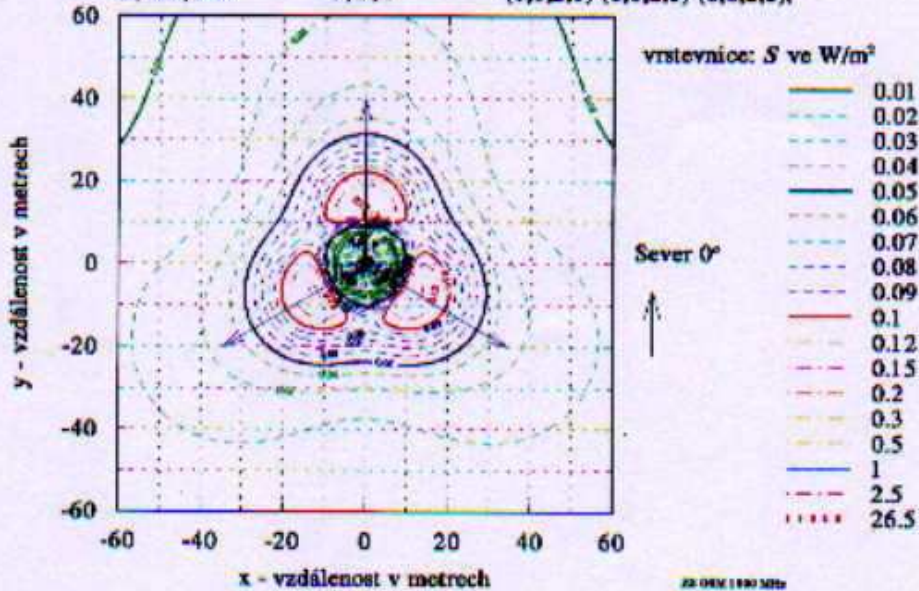
2x739710; 1x734330; $P = 3 \times 10 \text{ W}$; $G = 17,5 \text{ dBi}$; el. sklon = 2°
 rovina 1,6 m nad střeou; odrazy = 0 %

azimuty: mech. náklon: polohy (x;y;z) antén: ●
 $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ $0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$ $(0;0;2,6) (0;0;2,6) (0;0;2,6)$

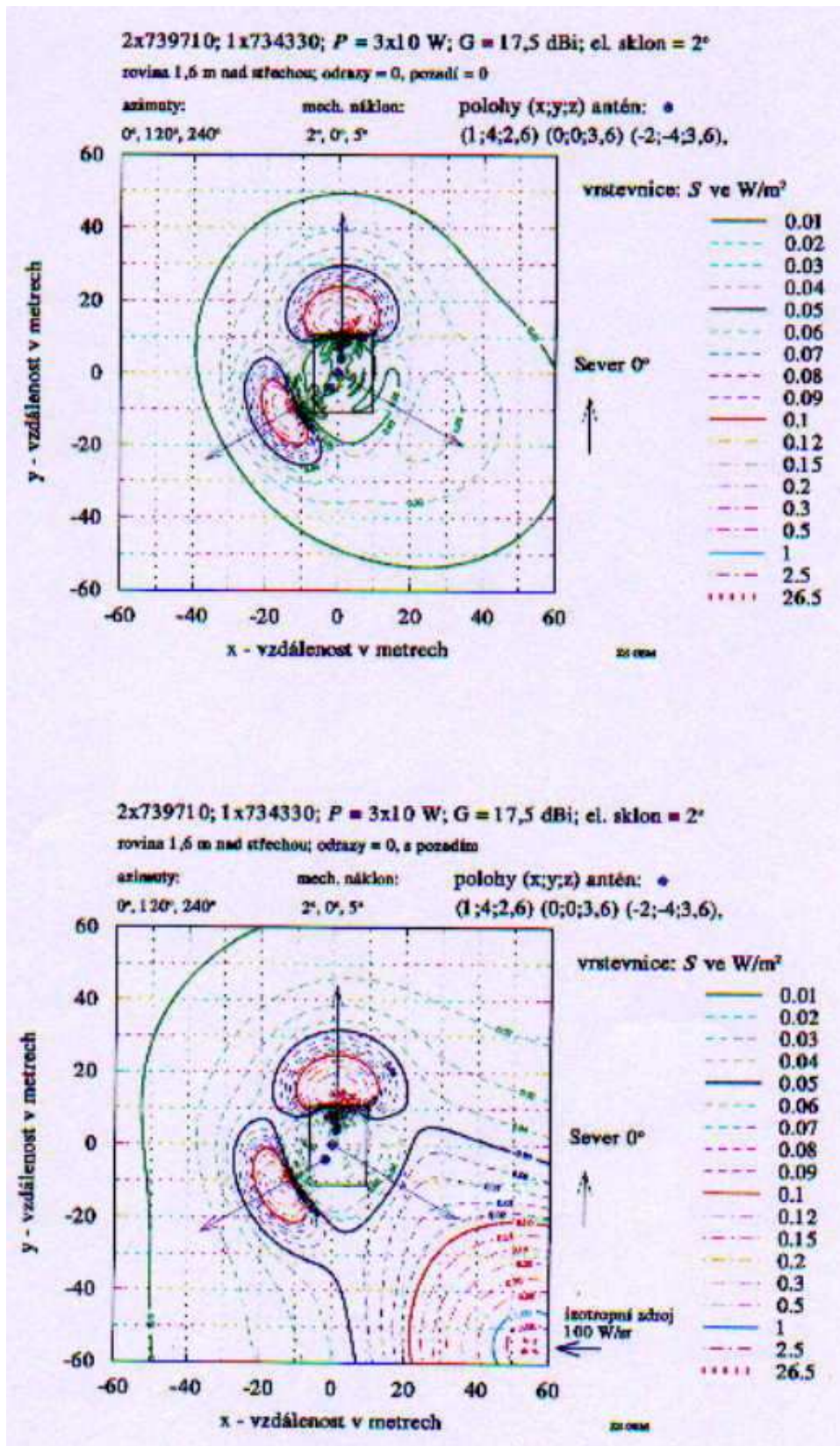


2x739710; 1x734330; $P = 3 \times 10 \text{ W}$; $G = 17,5 \text{ dBi}$; el. sklon = 2°
 rovina 1,6 m nad střeou; odrazy = 100 % od roviny 2,6 m pod anténami

azimuty: mech. náklon: polohy (x;y;z) antén: ●
 $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ $0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$ $(0;0;2,6) (0;0;2,6) (0;0;2,6)$



Obr. 3



Obr. 4

Z příkladů je zřejmé, že intenzita elektromagnetických vln vysílačů základnových stanic klesne pod hodnotu přípustnou pro trvalý pobyt obyvatelstva v poměrně malé vzdálenosti a že je možné při posuzování nově projektované stanice bez obav zanedbat vliv základnových stanic, jejichž vzdálenost je větší než 100 metrů. Většinou nebude porušena vyhláška 408/90 Sb. ani tehdy, bude-li vzdálenost nové stanice od stanice již existující menší, často ani tehdy, postaví-li se antény nové stanice na stejném místě (střeše, věži). Pro projektování nových základnových stanic v místech blízkých anténám televizních a rozhlasových vysílačů, které vytvářejí zvýšenou intenzitu pole (pozadí) v poměrně rozměrné oblasti, by si však projektant měl před výběrem místa pro stavbu zajistit předběžné (orientační) měření, pokud nezíská údaje o intenzitě elektromagnetického pole v daném místě jinak.

Vyzařování antén základnových stanic je směřováno vodorovně nebo je jen mírně skloněné, takže v úrovni terénu (ulice) je jeho intenzita hygienicky bezvýznamná. Na střechách s instalovanými anténami bývají však přípustné hodnoty v některých místech překročeny, a to i tehdy, jsou-li antény spodními okraji (ke kterým se výška antén počítá) výš než hlava člověka stojícího na střeše. Je-li střecha volně přístupná obyvatelstvu, je nutné znemožnit vstup do míst, kde je překročena přípustná hodnota pro odhadnutou dobu pobytu – ta je téměř vždy menší než 8 hodin denně v týdenním průměru a připouští tedy u obyvatelstva hustotu zářivého toku (výkonovou hustotu) $0,15 \text{ W/m}^2$. Jsou-li antény na nízkých trojnožkách na kraji střechy a míří-li přitom směrem od střechy, je třeba zneprístupnit prostor před nimi a asi 1,5 m až 2 metry po stranách a metr za anténou. Při umístění antén na tyči uprostřed střechy (například nad domkem strojovny výtahu) je intenzita elektromagnetického pole u paty nosiče antény téměř vždy menší než ve větší vzdálenosti.

Většina střech ovšem není pro pobyt obyvatelstva určena (není-li střecha na okrajích opatřena zábradlím, neměla by být běžně přístupná obyvatelstvu) a zaměstnanec pracující příležitostně na střeše je povinen se řídit provozním řádem. Je-li v místech, kde pracuje, překročena přípustná hodnota 1 W/m^2 stanovená pro osmihodinovou pracovní směnu, je povinen trávit v nich dobu (v týdenním průměru) přiměřeně kratší. V bytech nejvyššího podlaží domu pod střechou s anténami nelze očekávat intenzity pole blízké přípustné hodnotě pro trvalý pobyt obyvatelstva. Lze však doporučit měření v oknech bytů protějších domů, jsou-li přibližně stejně vysoko jako antény a je-li jejich vzdálenost blízká vzdálenosti, v které podle výpočtu výkonová hustota vlny klesne na hodnotu přípustnou pro čtyřiašedesáthodinový pobyt obyvatelstva.

K vykrytí míst jako jsou úzké ulice, strmá údolí nebo místnosti uvnitř železobetonových budov, kam se elektromagnetické záření dostává příliš zeslabené, se používají vykrývací vysílače. Pro odhad intenzity pole vyvolaného takovou anténou v místnosti nebo v ulici je možné použít stejný vztah jako pro jakýkoli jiný vysílač s anténou se známým ziskem, je však nutné počítat s tím, že se odrazy od stěn a od terénu uplatní v takových místech více než u antén na střechách a na věžích. Pro malé vykrývací antény instalované v místnostech a chodbách budov se používají vysokofrekvenční výkony, které nejsou o mnoho vyšší než výkony vyzařované anténami mobilních telefonů.

Je zřejmé, že je poměrně snadné určit spolehlivě vzdálenost, za kterou již nemůže být překročena příslušná přípustná hodnota stanovená vyhláškou 408/90 Sb. Pozornost pak stačí soustředit jen na místa, která jsou blíž u antén než je tato vzdálenost, případně na místa, kde je nutné očekávat výjimečně silné odrazy, vliv sekundárních zářičů (kovových tyčí a jiných vodivých předmětů v blízkosti antén) nebo kde jsou antény v úrovni blízkých oken střešních

nástaveb. Snadné je i odhadnout, zda pole blízké základnové stanice vytvoří v posuzovaném místě významné pozadí.

Přípustné hodnoty pro trvalý pobyt obyvatelstva podle vyhlášky 408/90 Sb. jsou pro vlny z pásem 900 MHz a 1800 MHz stejné a jsou pětikrát mírnější než přípustné hodnoty pro pásmo s frekvencí od 30 MHz do 300 MHz. V místech blízkých rozhlasovým vysílačům VKV/FM je proto nutné při měření určeném k ověření splnění vyhlášky 408/90 Sb. rozlišit, jaká část změřené intenzity elektromagnetického patří k frekvenčnímu pásmu nad 300 MHz a jaká k pásmu s přísnější přípustnou hodnotou. Přístroje běžně používané k hygienickým měřením měří zpravidla jen celkovou intenzitu elektromagnetického pole v širokém frekvenčním intervalu, který obsahuje různě hodnocená frekvenční pásma. Postupné vypínání jednotlivých vysílačů rozhlasových a televizních stanic je nákladné a jeho požadování neodůvodněné, protože určit frekvence zdrojů přispívajících k celkové intenzitě elektromagnetického pole v posuzovaném místě je možné bez vypínání jednotlivých vysílačů použitím odpovídajícího přístroje.

Samozřejmou zásadou při posuzování hygienické situace by mělo být, že požadavky na případná opatření nebo omezení musí vycházet z požadavků platné vyhlášky. Je pravda, že firmy zabývající se výstavbou základnových a vykrývacích stanic často natolik spěchají, že se snaží vyhovět i požadavkům, které z vyhlášky nevyplývají. Majitel objektu, kde se stanice staví, samozřejmě může mít i požadavky jiné, než které stanoví vyhláška. Úřední místa však požadavky přesahující vyhlášku uplatňovat nemohou.

Zpracovali: Luděk Pekárek, Tomáš Plechatý, Josef Patrovský