

## INFORMACE NRL č. 10/2001

### Základní principy GSM v souvislosti s posuzováním expozičních situací v okolí základnových stanic

#### 1. Úvod

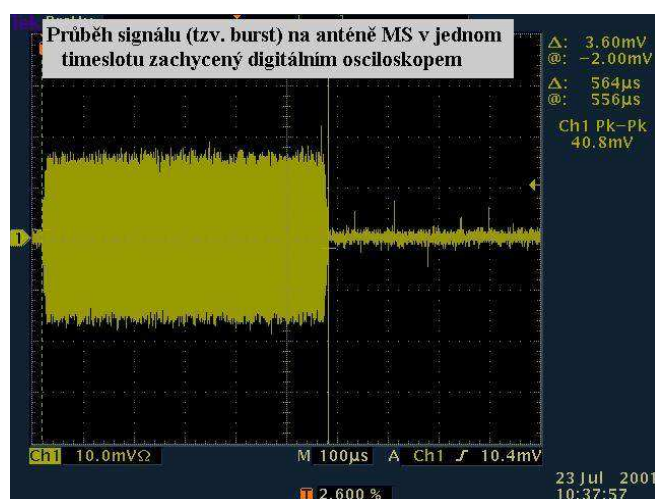
GSM - z angl. Global System for Mobile Communication - je terestriální celulární komunikační systém, který byl původně vytvořen jako společný evropský standard pro provoz mobilních telefonů, avšak velice brzy se rozšířil po celém světě. Jednou z nejčastějších situací, se kterou se setkávají pracovníci hygienických stanic v souvislosti s GSM, je posuzování či zpracovávání výpočtů intenzit elektromagnetických polí okolo základnových stanic (BTS, Base Transceiver Station), určených pro distribuci signálu GSM pro mobilní telefony. V současné době jde o pásma GSM 900 MHz a DCS (GSM) 1800 MHz. Nové Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením (platné od 1.1.2001) umožňuje zpracovat pro posouzení expoziční situace výpočet jako dostačující dokument k podkladům pro stavební řízení. V některých případech, zejména při zjišťování intenzity pole v bezprostřední blízkosti zářičů (antén) nebo na přístupných střeších (terasách), kde se do blízkosti antén mohou dostat i osoby z kategorie obyvatelstva („ostatní osoby“ podle terminologie použité v citovaném nařízení vlády), se však často doporučuje měření proto, že obyvatelstvo pokládá výsledky měření za spolehlivější než výsledky výpočtu. Zde se ovšem pracovníci provádějící měření setkávají s několika úskalími, která mohou měření a jeho hodnocení značně zkomplikovat. V této informaci NRL č. 10 se zaměříme na základní fakta, která bezprostředně souvisejí s měřením výkonů a intenzit elektromagnetického pole v okolí antén základnových stanic.

#### 2. Shrnutí principů GSM a celkový popis

Technické parametry systému GSM určeného pro provoz mobilních telefonů jsou závazně určeny souborem norem GSM, který v roce 1989 vypracoval Evropský telekomunikační standardizační úřad (ETSI, European Telecommunication Standard Institute) jako mezinárodně akceptovatelný digitální telefonní standard. Je popsán na internetové adrese [1]. Jde o digitální celulární systém, využívající časového (TDMA) a frekvenčního (FDMA) sdílení kanálů v pásmech určených jak pro vysílání od mobilní stanice směrem k základnové stanici (tzv. uplink), tak v pásmu určeném pro distribuci signálu od základnové stanice směrem k účastníkům (tzv. downlink). V pásmu GSM 900 MHz se využívá pro downlink 125 kanálů (každý o šířce 200 kHz), v pásmu DCS (GSM) 1800 MHz je 374 kanálů šířky 200 kHz. Kmitočty, na kterých vysílá BTS a mobilní stanice, jsou svázány duplexním odstupem (45 MHz pro pásmo 900 MHz, 95 MHz pro 1800 MHz). To znamená, že mobilní stanice vysílá vždy na kmitočtu o 45 MHz resp. 95 MHz nižším, než vysílá BTS. Základnová stanice může kdykoliv změnit číslo kanálu (frekvenci), na kterém se uskutečňuje spojení. Každý z těchto kanálů může obsloužit až 8 účastníků s využitím časového sdílení TDMA. V poslední době se zavádějí technologie umožňující rychlejší přenos dat s využitím většího počtu logických kanálů pro jediného účastníka (sít' GPRS, General Packet Radio Service, určená pro přenos datových paketů, a sít' HSCSD, High Speed Circuit Switched Data, určená přednostně pro rychlý přenos dat). Tyto technologie souvisejí s další vývojovou fází systému GSM, zvanou GSM Phase 2+ a s postupným přechodem na připravovanou třetí generaci mobilní komunikace, totiž UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

### 3. Vliv časového sdílení (TDMA) na úroveň signálu

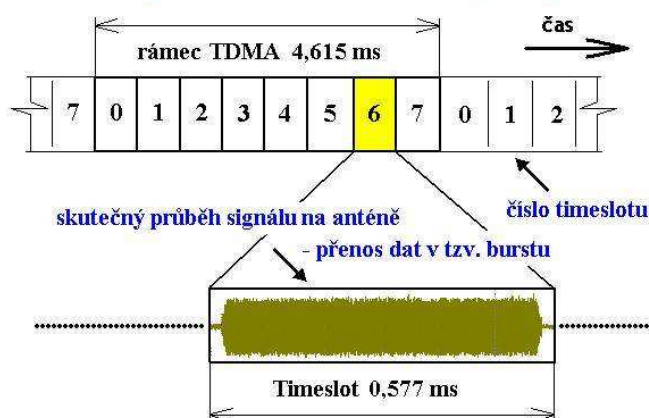
Časové sdílení kanálu GSM znamená, že každý účastník vysílá signál pouze po krátký časový úsek, tzv. timeslot, čemuž odpovídá průběh signálu označovaný jako burst (obr.1). Tento timeslot má časovou délku  $577 \mu\text{s}$  a je součástí delšího úseku, zvaného rámeček čili frame, trvajících osminásobek timeslotu, tedy  $4,615 \text{ ms}$  (obr. 2; skutečný průběh znázorňuje obr. 3). Znamená to, že každému účastníkovi je vyhrazen jeden úsek (timeslot) z celého rámečku. Jestliže je základnová stanice plně zatížena a obsluhuje tedy právě všech 8 účastníků na každém kanálu (režim Full Rate), je z výstupu kontajneru s technologií GSM dodáván do antény maximální výkon (tento výkon lze však dálkově regulovat - viz bod 5 - s ohledem na nastavení optimálních provozních podmínek). Tato situace je však pouze hypotetická. Sousední buňky totiž dokážou odlehčit provoz na přetížené buňce tím, že část účastníků převezmou na sebe. Pokud se počet účastníků zmenší, úměrně tomu se zmenší i výkon dodávaný do antény, popř. se daný kanál vypne.



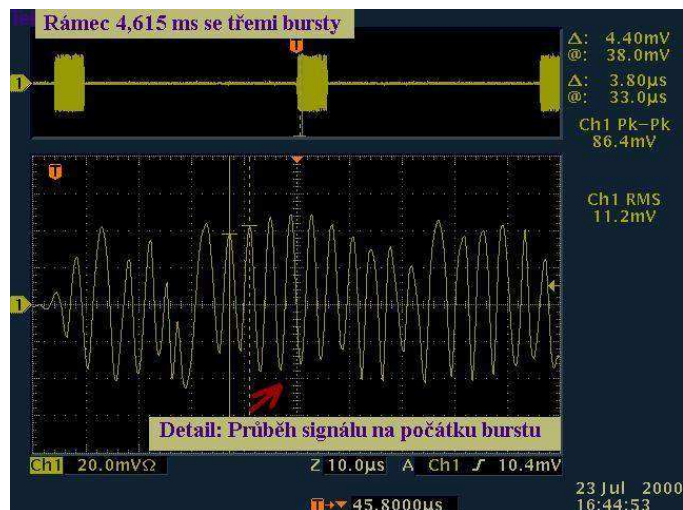
obr. 1: Průběh signálu označovaný jako burst.

### Časové sdílení TDMA u GSM

**Mobil nevysílá stále! Jen 1/8 časového úseku (rámečku).**



obr. 2: Časové sdílení kanálu GSM.



obr. 3: Skutečný průběh signálu v rámci (frame).

Pozn. 1: Počet účastníků se může zvětšit na 16 (Informace NRL č.4/2000) v případě, kdy se použije pro přenos pouze každý druhý timeslot (režim Half Rate). Tím dojde ke snížení bitové rychlosti, což nepatrně sníží kvalitu hovorového signálu. Režim Half Rate vyžaduje jednak podporu ze strany mobilního telefonu a jednak podporu ze strany sítě. Operátoři v ČR prozatím podporu Half Rate nepřipravují. Naopak některé technologie využívají současně více timeslotů, čímž lze zvýšit bitovou rychlost (výše zmíněné technologie GPRS a HSCSD).

Pozn. 2: Délka rámce 4,615 ms odpovídá frekvenci 217 Hz. To je kmitočet, který se při přihlašování mobilní stanice do sítě GSM někdy indukuje v nízkofrekvenčních obvodech rádiových přijímačů, nízkofrekvenčních zesilovačů, telefonních přístrojů apod. Výsledkem je přerušované „vrčení“ a praskání v reproduktoru či ve sluchátku. Tento jev se někdy projevuje na okamžik i u počítačových monitorů posuvem nebo deformací obrazu.

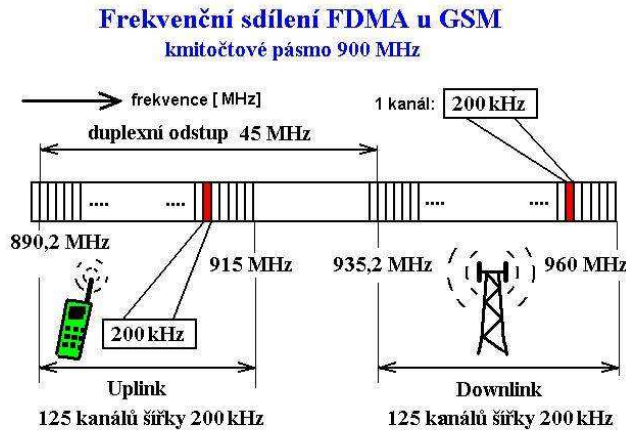
Jediný kanál, který vysílá stále, je tzv. nulový kanál. Na něm je distribuován signalizační timeslot, který komunikuje se všemi telefony najednou a zajišťuje např. sestavení hovoru nebo přenos textových zpráv. Provozní zatížení dané základnové stanice nelze zjišťovat pouze v kmitočtové oblasti, nýbrž je nutné je posuzovat i v časové oblasti. Takové měření lze částečně zajistit speciálním osciloskopem. Jde však o okamžitý údaj, který se může změnit mnohokrát za sekundu. Na spektrálním analyzátoru se jev projevuje jako „poskakující spektrální čáry“.

#### 4. Vliv frekvenčního sdílení kanálů (FDMA)

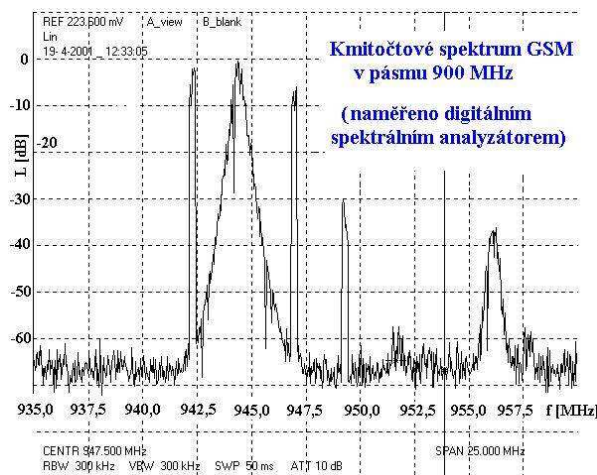
Výsledek měření může ovlivnit také změna kmitočtu daného kanálu. Jde o přeladování nosných kmitočtů k minimalizaci vzájemného ovlivňování vysokofrekvenčních kanálů (zabránění interferenci mezi kanály). Toto „přeskakování“ kmitočtů kanálů (frekvenční sdílení FDMA, nebo též Frequency Hopping, viz obr. 4) se využívá zejména v místech s vyšší koncentrací celulární struktury (např. ve městech, nicméně někteří operátoři je používají i na venkově v případech, kdy mají k dispozici pouze omezený počet kanálů). Uvedené cyklické změny frekvencí kanálů fungují v rámci jednoho pásma GSM. Pokud dojde k předání účastníka mezi pásmy 900/1800 MHz, jde o tzv. Hand Over. Ten může být podmíněn jak pohybem účastníka v síti GSM, tak i rozložením místního zatížení sítě do ostatních buněk. Praktický příklad zaznamenaného kmitočtového spektra v pásmu 900 MHz je na obr. 5. Úzké vrcholy představují jednotlivé frekvenční kanály, širší maxima vznikla navzorkováním

spektra několika kanálů s blízkými frekvencemi. V tomto případě sdílelo spektrum několik operátorů s anténami umístěnými nedaleko od sebe. Taková situace je typická pro centra měst a pro jiné hustě osídlené oblasti.

Souvislost mezi frekvenčním a časovým sdílením kmitočtového spektra znázorňuje obr.6.



obr. 4: Frekvenční sdílení kanálu GSM.



obr. 5: Příklad kmitočtového spektra v pásmu 900 MHz.



obr. 6: Časové a frekvenční sdílení kmitočtového pásma v systému GSM.

## 5. Dálková regulace výkonu

Norma GSM 05.05 předepisuje možnost dálkové regulace výkonu koncových stupňů kontejnerů GSM síťovým operátorem (Power Control), a to minimálně v šesti krocích po 2 dB, celkem tedy může operátor změnit výstupní výkon o 12 dB, tedy zhruba 16 krát, může ho však pouze snížit. Pokud tedy bude instalovaný výkon na kanál např. 4 W, může za určitých okolností operátor snížit tento výkon na  $4/16 \text{ W} = 250 \text{ mW}$ . Řídící jednotka základnové stanice (BSC, Base Station Controller) může dále snižovat výstupní výkon až v patnácti krocích po 2 dB, čili celkem o 30 dB (tedy tisíckrát). Pokud bychom v takové situaci měřili intenzitu elektromagnetického pole u antény, naměřili bychom o několik řádů nižší výkon než maximální možný. Maximální instalovaný výkon vysokofrekvenčních koncových modulů je dán technickými parametry modulu a v žádném případě ho nelze překročit.

Pozn. 3: Důvodem regulace vyzařovaného výkonu jak u BTS, tak u mobilních stanic je mimo jiné potřeba zamezit vzájemným interferencím mezi jednotlivými kanály, které jsou častou příčinou poruch mobilního spojení zejména v hustě osídlených aglomeracích. Operátoři se proto snaží nastavit optimálně jak frekvence kanálů mezi jednotlivými BTS, tak i jejich výkon.

Obdobný způsob regulace funguje i u mobilních telefonů. Maximální výkon je zde regulován ve 14 krocích od 1 mW (1800 MHz) resp. 3,2 mW (900 MHz) do 1 W resp. 2 W. V praxi se však maximálních výkonů uvedených v normě GSM 05.05 vůbec nedosahuje. Pro pásmo 900 MHz je maximální okamžitý výkon, přiváděný na anténu mobilní stanice, typicky 0,6 W a méně. To znamená, že střední výkon vyzařovaný z antény mobilní stanice je nižší než 0,1 W (vliv časového sdílení TDMA z bodu 3, vysvětlení viz též obr. 2). V městských zástavbách a v místech mikrobuněk stačí zpravidla pro provoz stanice minimální nastavená výkonová úroveň (řádově miliwatty).

Pozn. 4: Další redukci vysílacího výkonu přináší funkce DTX (Discontinuous Transmission): Mobilní stanice nevysílá trvale všechna data – například v okamžiku, kdy účastník poslouchá a nehovoří, stanice jen v určitých časových intervalech potvrzuje základnové stanici, že ji stále slyší.

Pozn. 5: Vzhledem k rostoucímu počtu účastníků systému GSM bude nadále pokračovat trend zhušťování sítě GSM, čili zmenšování buněk. S tím souvisí i snižování výkonů jak na straně základnových stanic, tak i na straně mobilních telefonů. Telefon i BTS spolu vždy komunikují s nejmenším výkonem, který stačí zaručit určitou kvalitu (chybovost) spojení. Tato regulace má i příznivý vliv na životnost akumulátorů v mobilních telefonech, výrobci mohou přístroje dále miniaturizovat.

## 6. Vliv odrazů a útlumu

Provoz mobilních stanic je umístěn v kmitočtových pásmech, kde se elektromagnetická vlna snadno odráží od překážek, jejichž rozměry jsou větší než vlnová délka použitého pásma (pro pásmo 900 MHz přibližně 0,32 m, pro pásmo 1800 MHz 0,16 m), pokud nejsou tvořeny silně absorbujícími materiály. Dobře odrážejícími překážkami jsou plechové střechy, železobetonové konstrukce, budovy, automobily apod. Ve zvláštních případech je proto zapotřebí uvažovat vliv těchto odrazů. Obecný model Rayleigh - Riceovského kanálu, který se v tomto případě pro posouzení odrazů používá, je uveden spolu s tabelovanými parametry

pro různé typy prostředí (volná krajina, hornatý terén, městské prostředí) v normě GSM 05.05. V úvahu je však nutno brát i útlumy. Vlny o takto vysokých frekvencích poměrně těžko pronikají zdí, do domů se tedy signál šíří především okny působením odrazů.

## 7. Kmitočtové spektrum

Jedno z možných řešení, kterými lze částečně kompenzovat vliv výše uvedených technických vlastností systémů GSM při hodnocení výsledků měření, je zapnout paměťový režim „Max – Hold“ u spektrálního analyzátoru. Tento režim umožňuje zachytit během měření maximální úroveň všech signálů, které se ve sledovaném spektru objevily i jen na krátký okamžik. Komplikací je vliv FDMA (přeladování kmitočtů nosných, bod 4), protože v naměřeném spektru pak zůstávají zaznamenány kanály, které na dané frekvenci vysílaly jen krátkou dobu a pak přeskočily na jinou. Výsledná naměřená intenzita elektromagnetického pole je potom vyšší, než skutečná hodnota. Takový výsledek může změnit závěry v protokolu o měření v případech, kdy intenzita zaznamenaná v režimu „MAX-HOLD“ přesahuje referenční hodnoty uvedené v Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. (například v prostoru blízko před anténou), v neprospěch provozovatele základnové stanice.

## 8. Závěr

Systém GSM je navržen tak, aby byl schopen plnit funkci jak pro mobilní účastníky v otevřené krajině, tak i v hustě osídlených oblastech měst, kde se velikosti jednotlivých buněk stále zmenšují a kde je třeba maximálně efektivně hospodařit s přidělenými kanály. Pokud se totiž vyzařování na dané frekvenci dostane z jedné buňky do další buňky se stejnou kmitočtovou sadou (není to ovšem nikdy buňka sousední), vzniklé interference značně zhorší detekci signálu jak na straně mobilní stanice, tak i na základnové stanici. Výsledkem je pak vysoká bitová chybovost a s tím související výpadky spojení, popřípadě snížení srozumitelnosti hovorového signálu. Proto je třeba dynamicky manipulovat jak s rozložením jednotlivých frekvenčních kanálů, tak i s výkonem, které budou použity pro vysílání. Toto platí nejen pro základnové stanice, nýbrž i pro mobilní stanice. V souvislosti s miniaturizací těchto přístrojů se zmenšuje i maximální výkon, který jsou schopny tyto telefony vyžádit. Trend zmenšování buněk sítě GSM tedy koresponduje se snižováním vyzařovaných vysokofrekvenčních výkonů.

Výše uvedené argumenty jasně mluví ve prospěch zpracovávání výpočtů namísto provádění měření při posuzování expoziční situace v blízkosti základnových stanic. Jedině výpočtem lze plně zohlednit maximální možný vliv celého dynamického systému GSM na úroveň vyzařovaných elektromagnetických polí. Výpočet samozřejmě nemůže poskytnout naprosto přesný obraz rozložení intenzit elektromagnetického pole ve větších vzdálenostech od antén, jestliže se v daném místě silně uplatňují odrazy nebo ohyb vyzařovaných vln. Při používaných výkonech je však elektromagnetické pole již ve vzdálenostech pouhých několika metrů od antén slabé a většinou nepřekračuje ani referenční úroveň pro „ostatní osoby“ stanovené v Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. V blízkém okolí antén je pak měření i jeho zhodnocení komplikované tím, že elektromagnetické pole má složitou prostorovou strukturu s lokálními maximy a minimy způsobenými interferencí vln vycházejících z různých míst antény. Při hodnocení expoziční situace pro zaměstnance, pro které jsou hygienické limity mírnější, může být v tom případě výpočet hodnotící měrný absorbovaný výkon v těle exponované osoby spolehlivější než měření intenzity elektromagnetického pole. V každém případě jsou pro posouzení expoziční situace důležité jednoznačné podklady od provozovatele příslušné základnové stanice, které pak lze použít jak ve výpočtech expozičních situací tak i při

posuzování výsledků případného měření. Jde především o informaci o použitém pásmu (900 / 1800 MHz), o počtu kanálů, vysílaných každou anténou a o příslušných výkonech, kterými daný kanál vysílá, případně o celkovém maximálním výkonu přiváděném k anténě. Např. jednoznačný údaj pro maximální výkon přiváděný na svorky antény je: “celkový výkon 6 W, 3 kanály po 2 W” nebo “2 W + 2 W + 2 W”. Dalším důležitým údajem je zisk antény, nebo ještě lépe typ antény. Na základě znalosti typu antény (většinou se používají směrové antény firmy Kathrein) a jejího případného mechanického náklonu lze vytvořit vrstevnicové grafy s konstantními „isocharami“ výkonové hustoty, které lze s výhodou použít například pro vyznačení oblastí, v kterých může být při plném provozu stanice a maximálních použitých výkonech v anténách překročena referenční úroveň pro zaměstnance a pro ostatní osoby (viz například Informaci NRL č. 4/2000). Výpočtem je tedy možné posoudit „nejhorší možnou expoziční situaci“, tj. situaci, kdy by všechny antény stanice vysílaly na plný výkon na všech kanálech snáze, než měřením, které je navíc náročné časově i finančně.

#### Literatura:

[1] <http://www.etsi.org>

#### Význam některých zkratek v GSM

BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
DTX	Discontinuous Transmission
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
MS	Mobile Station
SMS	Short Message Service
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

Zpracovali: Pavel Šístek