



## Zdraví a mobilní telefony

S ohromnou oblibou a rostoucím počtem bezstarostných uživatelů těchto přístrojů nápadně kontrastují novinové články s obrazem kostlivce držícího mobilní telefon v místě, kde kdysi bylo ucho. Pracovníky hygienické služby pak občané často žádají o radu, který z mobilních telefonů mají koupit, aby jejich zdraví poškozoval co nejméně. Jak je to tedy s přímým vlivem záření mobilního telefonu na člověka?

### Počet uživatelů

Používaných mobilních telefonů je v současné době v České republice více než obyvatel. I v ekonomicky méně pokročilých státech světa však počet uživatelů mobilů, jak se u nás nyní mobilní telefony běžně nazývají, prudce vzrostl. Celkový počet osob, které na naší planetě mobilní telefony používají, se odhaduje na více než tři miliardy. V některých částech světa jsou mobily nejspolehlivější nebo dokonce jedinou dostupnou možností telefonického spojení. I tam, kde je telefonní spojení pevnými linkami běžně dostupné, umožňují mobilní telefony udržovat nepřetržité spojení, aniž by uživatelům omezovaly svobodu pohybu. S ohromnou oblibou a rostoucím počtem bezstarostných uživatelů těchto přístrojů nápadně kontrastují novinové články s obrazem kostlivce držícího mobilní telefon v místě, kde kdysi bylo ucho, s varováním, že strkat mobil do kapsy kalhot by bylo (pro blízkost důležitých orgánů) fatálním omylem, s upozorněními, že následky telefonování mobilem se mohou projevit až za desítky let nebo dokonce teprve v příštích generacích, a s naléhavými doporučeními, aby rodiče nedovolili používat mobilní telefon dětem, jejichž buňky jsou teprve ve vývinu.

Příčiny, proč většinu redaktorů tisku, rozhlasu a televize zajímají především zprávy o ohrožování zdraví nejrůznějšími vnějšími vlivy, jsou ovšem známé, a neviditelné záření, o jehož přítomnosti a intenzitě je možné se dozvědět jen podle údajů přístrojů, je k psaní podobných velmi působivých článků zvláště výhodné. Jde-li o tak široce používané přístroje, jako jsou mobilní telefony, je ohlas čtenářů na článek zaručen. Pracovníky hygienické služby pak občané po přečtení takových článků často žádají o radu, který z prodávaných typů mobilních telefonů mají sobě nebo svému dítěti koupit, aby jejich zdraví poškozoval co nejméně. Odpověď, že by orgány ochrany zdraví nepřipustily prodej výrobků, o nichž se ví, že poškozují zdraví, a že z hlediska zdravotní nezávadnosti je jedno, který typ mobilního telefonu si vyberou, je zpravidla neuspokojuje. Tazatelé často poukazují i na to, že švédští, němečtí, britští nebo švýcarští, italské a někdy i čeští vědci právě definitivně dokázali, že záření vydávané mobilem je škodlivé, a diví se, že hygienická služba toto zjištění nevezala na vědomí.

### Kdo stanoví hygienické limity pro elektromagnetická pole

Je ovšem pravda, že při ohromném počtu uživatelů mobilních telefonů by se i malé nepříznivé účinky na zdraví mohly citelně projevit na celkovém zdravotním stavu obyvatelstva planety. I když dodnes nebyl prokázán jediný případ poškození zdraví zářením mobilního telefonu, Světová zdravotnická organizace (World Health Organization, WHO) vydává nemalé prostředky na výzkum působení elektromagnetických polí na člověka a systematicky sleduje vědecké publikace a výzkumné zprávy vztahující se k této problematice. Výsledky publikací na toto téma hodnotí především Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Tato komise, složená z nezávislých expertů, publikovala v roce 1998 "Směrnice pro omezení expozice střídavým elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým polím" [1]. Dodržení limitů stanovených v této směrnici



pokládá Světová zdravotnická organizace za dostatečnou ochranu zdraví. Pro vypracování směrnice vyhodnotili členové komise více než deset tisíc publikací a výzkumných zpráv, přičemž nemálo z nich označili jako metodicky či jinak chybné nebo nedostatečné k tomu, aby se podle jejich výsledků určovaly hygienické standardy. Komise sleduje průběžně nové výsledky výzkumů a v případě, že by se objevily poznatky, které by vyžadovaly limity změnit, je připravena to neprodleně učinit. Stojí za povšimnutí, že v takovém případě většina lidí pokládá za samozřejmé, že limity by bylo nutné po získání nových poznatků zpřísnit. Ve skutečnosti je pravděpodobnější, že nové poznatky by vedly ke zmírnění limitů, protože ty jsou nyní stanoveny s velkou rezervou, tedy hluboko pod prahem, kdy expozice elektromagnetickému poli může u člověka poškodit zdraví.

Česká republika uplatnila směrnici ICNIRP v nařízení vlády č. 480/2000 Sb. z 22. listopadu 2000, o ochraně zdraví před neionizujícím zářením [2]. Nařízení stanoví nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici elektrickým a magnetickým polím a elektromagnetickému záření v rozsahu frekvencí od nuly (statická elektrická a magnetická pole) do frekvence  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz (krátkovlnný kraj ultrafialového záření).

### Hygienické limity pro mobilní telefony

Současné mobilní telefony používají frekvence z pásma 900 MHz (vlnová délka 33 centimetrů) a z pásma 1800 MHz (vlnová délka 17 centimetrů). Hodnocenou dozimetrickou veličinou, pro niž jsou stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty, je u polí s frekvencemi od 10 MHz do 10 GHz měrný výkon absorbovaný v tkáni těla. (Jednotka měrného absorbovaného výkonu je watt na kilogram. I v české technické literatuře se pro tuto veličinu často používá zkratka SAR z anglického Specific Absorption Rate.) Jediný vliv, který byl kdy u záření těchto frekvencí zjištěn a může představovat zdravotní riziko, je totiž ohřívání těla nebo jeho části. Nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance byla stanovena rovnou jedné desetíně měrného absorbovaného výkonu, který člověka při nepřetržité expozici působící na celé tělo děle než šest minut ohřeje o jeden stupeň Celsia. Pro obyvatelstvo označované ve zmíněném nařízení vlády právnickým termínem "ostatní osoby" - patří k nim i děti a osoby nemocné - byl tento limit stanoven ještě pětkrát nižší. Vyzařování anténky mobilního telefonu zasáhne jen malou část těla a jako přípustná hodnota se v tom případě uplatní veličina nazývaná lokální měrný absorbovaný výkon. Pro ostatní osoby (obyvatelstvo) je její velikost stanovena na 2 W/kg. Pro zaměstnance je pětkrát vyšší, tedy rovná 10 W/kg; u mobilních telefonů se však používá ve všech případech hodnota stanovená pro ostatní osoby.

Hloubka pronikání decimetrových elektromagnetických vln do těla klesá s rostoucí frekvencí a závisí na druhu tkáně - u kostí je větší než u svalové tkáně. Její typická hodnota je pro frekvence používané u mobilních telefonů rovná přibližně jednomu centimetru. Měření absorbovaného vysokofrekvenčního výkonu v tkáni těla není ovšem u živého člověka proveditelné. Pro zjištění, zda určitý typ mobilního telefonu nepřekračuje stanovený lokální měrný absorbovaný výkon, se používá buď numerický výpočet na počítači, nebo měření na modelech (fantomech), jejichž elektrické parametry odpovídají vlastnostem vyšetřované části lidského těla. Oba způsoby jsou náročné, protože vysokofrekvenční vodivost i dielektrická konstanta je jiná pro svalovou tkáň a jiná pro kosti, hlava nemá jednoduchý geometrický tvar a také směrové vlastnosti vyzařování anténky mobilního telefonu se u jednotlivých typů přístrojů liší. Spolehlivá měření provádí jen několik specializovaných laboratoří v Evropě a v USA. U všech mobilních telefonů, které jsou v naší veřejné obchodní síti, je deklarovaná hodnota měrného lokálně absorbovaného výkonu nižší, než stanovená přípustná hodnota. Dodržení hodnoty 2 W/kg pro lokální měrný absorbovaný výkon zaručuje, že i v místech nejbližších anténce mobilního telefonu je ohřátí hlavy a jejího vnitřku - mozku - tak nepatrné, že jeho škodlivý vliv je vyloučen.



## Impulsní modulace - telefon nevysílá spojitě

Jiný vliv než ohřátí tkáně těla nebyl u elektromagnetického záření s frekvencí používanou u mobilních telefonů nikdy prokázán a není ani znám teoretický mechanismus, kterým by takové záření na živý organismus působilo jinak než uvolněným teplem. Přesto se otázka možného netepelného působení slabých vysokofrekvenčních polí stále sleduje. U mobilního telefonu byl v této souvislosti posuzován vliv impulsní modulace signálu.

Mobilní telefon vysílá totiž krátké impulsy nesoucí kódovaný záznam hlasu. Impulsy mají délku 0,577 milisekund a opakují se po 4,615 milisekundách, tedy s frekvencí 217 Hz. V době mezi těmito impulsy je vysílač mobilního telefonu vypnutý a ve zbývajících sedmi osminách času mohou být na stejné nosné frekvenci přenášeny z antény základnové stanice hovory dalších sedmi účastníků. Přerušovaný způsob vysílání se ve sluchátku neprojeví, protože v přijímači je kódovaný signál převeden zpět na zvuk a přerušování není slyšitelné (impulsní zvuk s frekvencí 217 Hz by se ve sluchátku projevil vrčením).

Při modulaci rozhlasových a televizních vysílačů se vyzařovaný signál nepřerušuje (to platí i o televizních a rozhlasových signálech s digitálním kódováním). K otázce, zda by absorpce přerušované elektromagnetické vlny mohla na živý organismus působit ještě jinak než tepelně, se v městě Erice na Sicílii pořádal v listopadu 1999 týdenní seminář WHO s názvem "Biologické efekty, zdravotní důsledky a standardy pro impulsní radiofrekvenční pole" [3]. Semináře se účastnilo přes dvě stě pracovníků z celého světa.

Hlavní myšlenka o možném netepelném působení spočívala v daném případě v představě, že impulsy vysokofrekvenčního elektromagnetického pole pronikajícího do těla by mohly v tkáni těla vyvolávat elektrické proudy s nízkou frekvencí (217 Hz). Nízkofrekvenční elektrický proud v těle působí především na nervové buňky, a kdyby impulsně modulované vysokofrekvenční záření mobilního telefonu nízkofrekvenční proudy skutečně vyvolávalo, bylo by nutné kromě měrného absorbovaného výkonu ještě hodnotit, zda v těle exponované osoby není překračována nejvyšší přípustná hodnota pro intenzitu indukovaných nízkofrekvenčních elektrických proudů.

Představu o tom, že působení impulsního vysokofrekvenčního pole se od působení nepřerušovaného pole liší, na první pohled podporuje i dlouho známý jev pozorovaný v blízkosti radarové antény: člověk, na kterého dopadne s dostatečnou intenzitou radarový impuls, slyší v uchu lupnutí. Tento jev však vzniká rovněž jen tepelným působením elektromagnetické vlny: absorpce vysokofrekvenční energie od radarového impulsu je soustředěna do velmi krátké doby, a rychlé bytí velmi malé stoupaní teploty tkáně, především mozku, vyvolá v hlavě exponované osoby zvukovou vlnu. Ta podráždí "zevnitř" sluchové receptory. Jev se při běžně dosahovaných intenzitách radarových impulsů pokládá za neškodný, nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici osob vysokofrekvenčním impulsům jsou však nyní stanoveny tak, aby k němu nedocházelo. Absorpce impulsně modulovaného záření mobilního telefonu zvukový vjem vyvolat nemůže - jednak proto, že elektromagnetické pole je i v bezprostřední blízkosti anténky velmi slabé, jednak proto, že vysílané impulsy jsou poměrně dlouhé.

Vyhodnocení příspěvků ze semináře a dalších publikací a výzkumných zpráv, které provedla komise ICNIRP, jednoznačně vedlo k závěru, že jiné působení impulsně modulovaných radiofrekvenčních polí na biologické objekty, než tepelné, se neprokázalo. Tento závěr potvrdily i pozdější práce zaměřené na hledání netepelných účinků poměrně silných impulsních radiofrekvenčních polí (například experimentální studie Výzkumné laboratoře amerického letectva v Brooks v Texasu, o které podal zprávu v červnu 2001 na zasedání Mezinárodního poradního sboru WHO pro elektromagnetická pole v Ženevě Dr. M. Murphy). V



březnu 2007 vyšel v mezinárodním odborném časopise o Environmental Health Perspectives přehledný článek [8] autorů P. Valberga, E. van Deventerové a M. Repacholiho".

Článek vychází z výsledků mezinárodního semináře, který pořádala Světová zdravotnická organizace v červnu 2005 v Ženevě k často se vyskytujícím obavám, zda expozice elektromagnetickým polím vyzařovaným anténami obsluhujícími mobilní telefony nemůže přes velmi malou intenzitu způsobit po mnohaleté expozici zdravotní potíže (této otázky se týká i "Fact Sheet WHO" č 304 [7]). Velmi důkladný rozbor provedený s uvažováním různých variant působení elektromagnetického pole na tkáň těla však vedl k závěru, že ani v tomto případě nejsou důvody k obavám. Skutečnost, že se na tomto výsledku shodli fyzik z Gradient Corporation, Cambridge, Massachusetts, současná koordinátorka WHO v oboru zdravotních otázek spojených s expozicí elektromagnetickému poli a bývalý koordinátor WHO v tomto oboru je jistě velmi silným argumentem o tom, že ani antény základnových stanic na střechách, ani mobilní telefony u ucha nepředstavují zdravotní riziko. Pokud jde o často vyslovované obavy o poškozování zdraví u dětí používajících mobilní telefon, uspořádala Světová zdravotnická organizace na toto téma v Istanbulu v roce 2004 speciální seminář [6], kterého se zúčastnilo přes dvě stě osob. Otázka možného rozdílu mezi účinkem expozice elektromagnetickým polím na dospělé osoby a na děti byla na tomto setkání zevrubně probírána. Žádné specifické působení však prokázáno nebylo. Rozdílné rozměry těla a jeho částí, které mohou poněkud ovlivnit měrný absorbovaný vysokofrekvenční výkon, nebyly shledány jako významné, mimo jiné i proto, že pětkrát nižší limity stanovené pro ostatní osoby jsou pro děti dostatečně bezpečné.

### Vysokofrekvenční výkon vysílače mobilního telefonu

Vysokofrekvenční výkon vyzařovaný anténkou mobilního telefonu je velmi malý. Po dobu trvání impulsu nepřekračuje 2 W ani při plném využití výkonu přístroje. Dalších sedm osmin doby mezi impulsy přístroj nevysílá, takže střední vyzařovaný výkon mobilního telefonu je 0,25 W. V hlavě člověka, který právě telefonuje, se z tohoto výkonu absorbuje méně než jedna polovina, řekněme 0,1 W. Jak malý výkon tato hodnota představuje, vynikne ze srovnání s bateriovou kapesní svítilnou. Její žárovka vyzařuje (kontinuálně a převážně jako tepelné, tedy infračervené záření) typicky 1 W.

Požadavek nepřekročit měrný lokálně absorbovaný vysokofrekvenční výkon je ve směrnici ICNIRP (a v citovaném nařízení vlády č. 480/2000 Sb.) formulován tak, že u zaměstnance nesmí být v žádných deseti gramech tkáně absorbováno více než právě oněch 0,1 W ( $0,1\text{W}/0,01\text{kg} = 10\text{ W/kg}$ ). Hygienickou "normu" pro zaměstnance splní tedy mobilní telefon bez jakýchkoli opatření. U ostatních osob není nejvyšší přípustná hodnota pro měrný absorbovaný výkon překročena, je-li v kterýchkoli deseti gramech tkáně absorbováno nejvýše 0,02 W, tedy pětkrát méně. Těch deset gramů tkáně je nutné vybrat ve tvaru kostky, tedy (přibližně) krychle o hraně dlouhé 2,15 centimetru. Soustředit vyzařování anténky mobilního telefonu tak, aby byla překročena nejvyšší přípustná hodnota lokálního absorbovaného výkonu pro ostatní osoby, je tedy principiálně možné. Při realizovatelné konstrukci anténky mobilního telefonu a používaných vlnových délkách však elektromagnetické pole v blízkosti mobilního telefonu zasáhne poměrně značnou část povrchu hlavy. Není proto obtížné dosáhnout u mobilního telefonu i nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty pro ostatní osoby.

Popsaná úvaha vyšla z nejvyššího výkonu používaného podle technických norem mobilním telefonem pracujícím na frekvenci 900 MHz. Vysílá-li mobilní telefon na frekvenci z pásma 1800 MHz, je podle technické normy jeho maximální vyzařovaný výkon poloviční.

Uvedené nejvyšší přípustné hodnoty pro lokální měrný absorbovaný výkon se uplatní při době expozice rovné šesti minutám nebo delší. Při kratší expozici se přípustný absorbovaný výkon zvyšuje. Skutečná intenzita vyzařování mobilního telefonu je kromě toho téměř vždy nižší než uvažovaná maximální intenzita.



Je-li základnová stanice zprostředkující spojení blízko, mobilní telefon totiž automaticky intenzitu vyzařování sníží (viz například [4, 5, 7]).

## Prokázaná rizika expozice elektromagnetickému záření

Výsledek popsaného jednoduchého odhadu patrně překvapí. Je ovšem nutné přiznat, že elektromagnetické záření jako takové v obecném smyslu vůbec neškodné není. Pomineme-li záření ionizující (reprezentované radioaktivním zářením gama a rentgenovým zářením), které představuje zdravotní riziko i při velmi slabých intenzitách, může i neionizující záření, tedy i záření s frekvencí používanou mobilními telefony, poškodit zdraví a výjimečně i způsobit smrt. Záleží to na intenzitě záření - je popsáno nemálo případů především ze starší doby, kdy například došlo k popálení elektromagnetickým polem vysokofrekvenčního generátoru s vysokým výkonem. Bylo to ovšem v situacích, kdy se nyní platné nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici člověka překročily i o několik řádů. Poškození zdraví neionizujícím zářením při expozici nepřekračující stanovené nejvyšší přípustné hodnoty nebylo naproti tomu nikdy prokázáno.

Na stránkách Internetu i v novinových článkách si můžeme za citací takového konstatování zpravidla hned v následující větě přečíst, že existence škodlivých účinků například mobilů nebyla ale také nikdy vyvrácena. Důkaz neexistence nějakého jevu je však zpravidla nemožný. Místo (filozofické) úvahy na toto téma se spokojíme s konstatováním, že pravděpodobnost, že expozice člověka vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli nepřekračující nejvyšší přípustnou hodnotu (stanovenou podle poznatků současné vědy) přece jen poškozuje zdraví, je sice z principiálních důvodů nenulová, avšak nesmírně malá. Nelze se divit, že publikace, v kterých se tvrdí, že takové působení bylo objeveno, jsou po mnoha desetiletích důkladného výzkumu posuzovány se značnou skepsí a tvrzení se nezávisle ověřují - zatím vždy s výsledkem, že škodlivé působení se nepotvrdilo. Neočekávané jsou ovšem i výsledky experimentů, které autoři pokládají za důkaz, že záření mobilního telefonu zdraví prospívá nebo aspoň že zvyšuje pozornost a vnímavost.

## Závěr

Všimli jsme si jen otázky přímého vlivu záření mobilního telefonu na člověka. Pokud jde o škodlivost jeho používání, které s působením elektromagnetického pole na člověka nesouvisí, je například při řízení auta nesporná a projevuje se i tehdy, je-li mobilní telefon přizpůsoben tak, aby ho řidič nemusel držet v ruce. Nesporné jsou však i jeho výhody - je to nejen záchrana mnoha životů lidí těžce zraněných nebo postižených náhlým onemocněním, ale i možnost okamžité komunikace mezi lidmi bez ohledu na místo a na podmínky, ve kterých se právě nacházejí.

### Literatura:

- [1] ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74, 494-522, 1998.
- [2] Nařízení vlády z 22. listopadu 2000, č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Sbírka zákonů, Česká republika, ročník 2000, částka 139, str. 7582-7621.
- [3] Proceedings of International Seminar on Biological Effects, Health Consequences and Standards for Pulsed Radiofrequency Fields. Erice, Sicily, Italy. 21. - 25. listopad 1999.
- [4]
- [5] WHO Fact Sheet No. 193: Electromagnetic Fields and Public Health - Mobile Phones and Their



**STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV**

- Base Stations. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/en/>
- [6] Mezinárodní pracovní seminář WHO "Citlivost dětí k elektromagnetickým polím". Istanbul, 9. až 11. června 2004
  - [7] WHO Fact Sheet No. 304: Elektromagnetická pole a zdraví. Základnové stanice a bezdrátové technologie (2006). [http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/bs\\_fs\\_304\\_czech.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/bs_fs_304_czech.pdf)
  - [8] Peter A. Valberg, T. Emilie van Deventer, and Michael H. Repacholi. Workgroup Report: Base Stations and Wireless Networks-Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences. Environmental Health Perspectives, Vol. 115, No 3, March 2007