

Informace č. 20/2019
NRL pro neionizující elektromagnetická pole a záření
Rizika expozice člověka elektromagnetickému poli v telekomunikační síti páté generace

Úvod

Zavádění (léto 2019) telekomunikační sítě páté generace je spojeno s obavami o zdraví osob, které budou exponovány elektromagnetickému poli ve frekvenčním pásmu centimetrových a milimetrových vln generovaných rádiovým rozhraním tohoto systému. S obavami přichází i značný počet dezinformací, které se za pomoci internetu rychle šíří. Následné apely některých občanů k zastavení budování nové telekomunikační sítě tak získávají iracionální nádech. V takové situaci je důležité danou problematiku racionalizovat a popsat vědecky ověřená rizika, která z používání dané technologie plynou. Tento postup se ukázal jako účinný i v předchozích vlnách obav, které byly spojeny s rádiovým a televizním vysíláním, rozvodem elektrické energie, počítačovými monitory a mobilními sítěmi předchozích generací, především té druhé. Důležitou ingrediencí úspěchu bylo též nepoužití principu předběžné opatrnosti, který by vedl jednak k rozdmýchání obav, a také k zastavení vývoje dané technologie a jejímu faktickému zániku, to vše bez pozitivního efektu na zdraví exponovaných osob [1995_Göthe, 2008_Landgrebe].

V tomto článku nejprve stručně popíšeme změny, které telekomunikační síť páté generace z pohledu ochrany zdraví přináší. Dále popíšeme, jak je vystavěna ochrana zdraví před expozicí osob elektromagnetickým polím ve frekvenčním rozsahu od stovek megahertzů do stovek giga hertzů, tedy ve frekvenčním rozsahu významně širším, než se kterým síť páté generace počítá.

Telekomunikační síť páté generace

K datu psaní tohoto textu (léto 2019) neexistuje definitivní standard pro síť páté generace. Existují jen průmyslové standardy organizace 3GPP [3GPP] pro postupně evoluční fáze systémů páté generace a slib, že konečná verze by měla být dostupná v roce 2020 (IMT-2020 od mezinárodní telekomunikační unie [IMT-2020]). Bez ohledu na chybějící standardizaci lze však bezpečně říci, že síť páté generace se od sítě čtvrté generace nebude na radiové vrstvě lišit principiálně. Radiová část bude stále tvořena buňkovou sítí základnových stanic a k nim připojenými koncovými zařízeními. Základnové stanice v síti páté generace budou dvou typů:

1) Makro-buňka: Základnová stanice pokrývající okolí do vzdálenosti větší než stovky metrů. Tyto základnové stanice budou velmi podobné těm, které jsou na střechách domů, stožárech, či věžích již dnes v síti generace čtvrté. Budou též disponovat podobným vysílaným výkonem v řádech desítek až stovek wattů. Makro-buňky budou typicky pracovat s frekvencemi blízkými současné telekomunikační síti čtvrté generace (700 MHz – 6 GHz). Jako dnes bude jejich nejbližší okolí nepřístupné neproškoleným osobám.

2) Mikro(piko)-buňka: Základnová stanice pokrývající malé plochy zajišťující vysokorychlostní komunikaci s velmi malým zpožděním. Vzhledem k požadavku na vysoké rychlosti se počítá s nasazením vyšších frekvenčních pásem (24GHz a více) a anténních polí s vysokým ziskem (v okolí 25 dBi). Tato anténní pole budou tvořena stovkami elementárních zářičů a dokáží zformovat pro každou aktivní mobilní stanici jí určený „tužkový“ vyzařovací svazek. Tím se prakticky vyloučí expozice určitého uživatele signály všech ostatních aktivních uživatelů systému. Tento typ základnových stanic bude typicky umístěn na menší věži či zdi domu s přímým výhledem na pokrývané prostranství a bude pracovat s výkony do přibližně 10 wattů u mikro-buněk

či do 1 wattu u piko-buněk. Expozice v těsné blízkosti stanice bude zamezena fyzickým umístěním stanice. Je důležité též poznamenat, že elektromagnetické pole z uvedených vysokých frekvenčních pásem bude provázet značný útlum při průchodu zdíkem či moderními okny s termoizolací, čímž bude prakticky anulována expozice osob uvnitř budov od těchto základnových stanic [2018_Hemadeh].

Dalším expozičním faktorem budou vlastní koncová zařízení. Ta budou muset být schopna komunikovat se všemi zmíněnými typy základnových stanic a často i mezi sebou. Jejich časově střední vysílaný výkon se předpokládá na úrovni shodné s koncovými zařízeními v síti čtvrté generace v případě mobilních telefonů, případně významně nižší v případě zařízení internetu věcí. Detailní výkonové úrovně těchto zařízení nejsou v době psaní tohoto textu (léto 2019) známé.

Pro detailnější pojednání o radiovém rozhraní telekomunikační sítě páté generace lze odkázat na [5G_Wiki, 5GNR_Wiki, 2018_Morgado, 2018_Hemadeh] a v nich obsažené citace.

Ochrana zdraví před elektromagnetickým polem z frekvenčního pásma od 100 MHz do 300 GHz

Ochrana zdraví před konkrétním fyzikálním agens (v tomto případě vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem) je založena na zamezení zdravotních účinků jím působených. Na tomto místě je dobré poznamenat, že:

a) Zdravotním účinkem je v tomto kontextu míněn negativní efekt na zdraví člověka. Tyto zdravotní účinky je přitom důležité odlišit od fyzikálních účinků (jakýkoli fyzikální projev expozice) či biologických účinků (jakýkoli projev expozice na buněčné úrovni). Absolutní většina fyzikálních projevů expozice lidské tkáně elektromagnetickému poli není biologickým účinkem a už vůbec ne zdravotním účinkem. Dále pak platí, že zdaleka ne každý biologický účinek expozice elektromagnetickému pole má vliv na lidské zdraví. Mnohé biologické efekty jsou eliminovány fyziologickými procesy [2007_Valberg].

b) Často existuje celá řada zdravotních účinků daného expozičního agens. Tyto účinky však nastávají při různých intenzitách expozice. V takovém případě postačí nalézt ten zdravotní účinek, který nastává z hlediska intenzity expozice nejdříve. Ochrana před tímto zdravotním účinkem zaručuje i ochranu proti všem ostatním zdravotním účinkům daného expozičního agens.

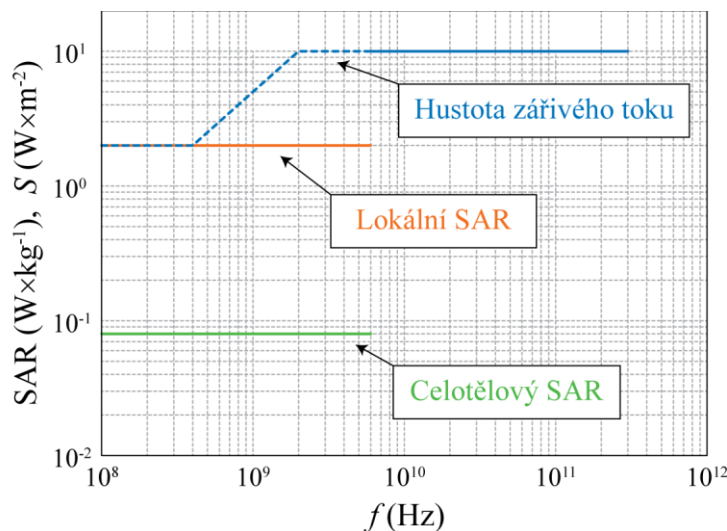
V případě expozice člověka elektromagnetickému poli z frekvenčního pásma od 100 MHz do 300 GHz současný stav vědeckého poznání (více než 70 let systematického výzkumu) ukazuje, že zastřešujícím účinkem je ohřev tkáně a z něj vznikající fyziologické efekty. Ostatní efekty expozice buďto nastávají při vyšších intenzitách expozice, případně jsou spojeny s ohřevem [1998_ICNIRP, 1990_Lin, 2004_Kappe, 2009_SSM]. V současné době existuje konsensus, že ohřev tkáně o méně než přibližně 1°C nevede k žádným zdravotním účinkům expozice. Výzkumy zároveň ukazují, že efekty jsou akutní. Dlouhodobé účinky expozice nebyly potvrzeny, navzdory řadě studií zabývajících se i karcinogenitou a genotoxicitou. [2009_SCENIHR, 2015_SCENIHR]. V případě vysokofrekvenčních polí také nebyla (s výjimkou neškodného jevu mikrovlnného slyšení [1990_Lin]) nikdy potvrzena závislost expozice na konkrétním časovém průběhu exponujícího elektromagnetického pole. To umožňuje do dlouhodobých studií zahrnout i expozici radiovému a televiznímu vysílání (celoplošná expozice trvající téměř 100 let) či expozici telekomunikačním sítí první až čtvrté generace (v rozvinutých zemích trvající déle než 20 let). Ve všech těchto případech,

stejně jako v plánované telekomunikační síti páté generace, je elektromagnetické pole, kterému jsou lidé exponováni, do velké míry chaotické (interferující řečové a obrazové signály či fragmentovaná data) a jím působená expozice porovnatelná. Jediným rozdílem těchto technologií tak zůstává frekvence nosné vlny, jejíž efekt na hodnocení expozice je diskutován v následující sekci.

Expoziční limity

Expozičním limitem je typicky myšlena hodnota, platná pro danou expoziční situaci, jejíž nepřekročení zaručuje, že exponovaná osoba nebude poškozována na zdraví. Za velmi univerzální expoziční limit v případě expozice vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli by bylo možné použít ohřev tkáně. Takový limit je však nepraktický, jelikož jen zprostředkovaně souvisí s elektromagnetickou úlohou pro exponovanou osobu. Výhodnější je stanovit expoziční limit přímo pro elektromagnetické veličiny, tak, aby mohly být snadno použity běžně dostupné výpočetní modely. Nejpoužívanější expoziční limity [1998_ICNIRP, 2019_ICES] tak jednotně používají (a) měrný absorbovaný výkon v tkáni nebo (b) hustotu zářivého toku dopadající na exponovanou osobu. V obou případech je hodnocen časový průměr zjišťované výkonové veličiny. V případě (a) je ustálen průměrovací interval na dobu šesti minut. V případě (b) se doba zkracuje s rostoucí frekvencí, více viz [2015_NV, 1998_ICNIRP].

V případě telekomunikační sítě páté generace bude měrný absorbovaný výkon primárně hodnocen u koncových zařízení, která se mohou nacházet v těsné blízkosti exponované osoby. Základnové stanice jak makro-, mikro- tak piko- buněk budou primárně hodnoceny za pomoci hustoty zářivého toku, jelikož ve většině expozičních situací se bude exponovaná osoba nacházet v zářivé oblasti zdroje. Expoziční limity jsou ukázány na Obr. 1.

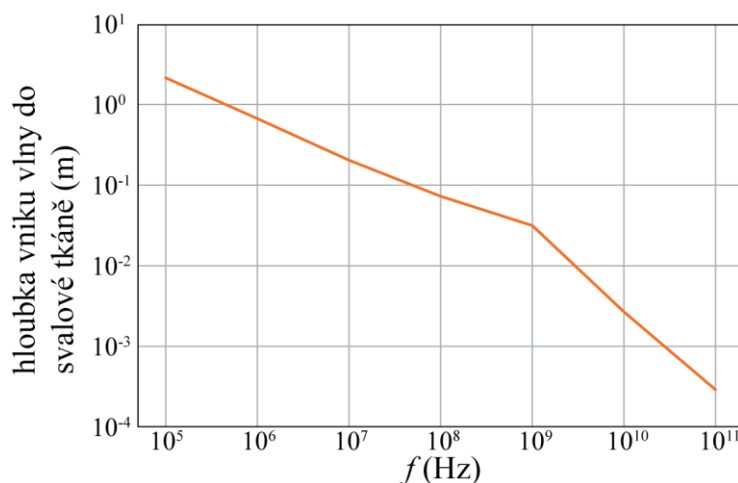


Obr. 1 Expoziční limit platný pro ostatní osoby v komunálním prostředí (nekontrolovaná expozice) a pro frekvenční interval 100 MHz až 300 GHz.

Ve frekvenčním intervalu překryvu, platí, že nepřekročení expozičního limitu pro hustotu zářivého toku nezaručuje nepřekročení expozičního limitu pro měrný absorbovaný výkon. Ekvivalence obou

limitů je platná pouze při expozici ve zářivé zóně zdroje. V případě expozice v blízké zóně zdroje je třeba expozici hodnotit pomocí měrného absorbovaného výkonu.

Kromě konkrétních hodnot expozičních limitů Obr. 1 také ukazuje, že měrný absorbovaný výkon se striktně nepoužívá u frekvencí vyšších než přibližně 6 GHz. To je způsobeno fyzikálním mechanismem absorpce výkonu v lidské tkáni. Lidská tkáň jednak vykazuje silný povrchový jev, viz Obr. 2, a za druhé je při takto vysokých kmitočtech lidské tělo jako objekt nekoherentním přijímačem, lze ho tedy považovat za soustavu nezávislých absorpčních ploch.



Obr. 2 Hloubka vniku rovinné elektromagnetické vlny do svalové tkáně.

Ochrana zdraví před elektromagnetickým polem v telekomunikační síti páté generace

Česká i světová legislativa disponuje již od počátku dvacátého prvního století expozičními limity pro celý interval frekvencí neionizujícího záření, tedy od statických polí až po ultrafialové záření. Tyto expoziční limity jsou vystavěny na detailní znalosti interakce elektromagnetického pole a živé tkáně a jsou proto zcela nezávislé na technologii, která elektromagnetické pole generuje. Legislativa pro ochranu zdraví je tedy zcela připravena na nástup telekomunikační sítě páté generace, která v rámci frekvenčního intervalu neionizujícího záření zabírá méně než dvě tisíce procenta.

Otevřené otázky do budoucna

Bez ohledu na současnou připravenost bude dál probíhat výzkum v oblasti biologických a zdravotních účinků elektromagnetického pole na živé organismy. Jednou z hlavních oblastí současného zájmu se stává expozice ve frekvenční oblasti jednotek terahertzů, kde existuje jen velmi málo experimentálních výsledků, což je způsobeno nevelkým počtem fyzikálních zdrojů, které jsou tato elektromagnetická pole schopna generovat. Jednotky terahertzů jsou také frekvenční oblast, kde dochází ke styku dvou fyzikálních oblastí, mikrovlnné techniky na straně jedné a optiky na straně druhé. Tyto dvě fyzikální oblasti bude třeba spojit jak terminologicky, tak věcně, aby bylo možné vystavět robustní expoziční limity v této frekvenční oblasti. V současné době jsou limity v této frekvenční oblasti nesourodé, což odráží zcela odlišné požadavky na ochranu zdraví na spodní a horní hraně tohoto intervalu: úplné zamezení zdravotních účinků na straně mikrovlnné

[1998_ICNIRP] versus ochrana před akutními termálními efekty především v oblasti oka na straně optické [2006_ICNIRP].

Literatura

[1995_Göthe] Göthe, C. J., Molin, C., Nilsson C. G., "The environmental somatization syndrome", *Psychosomatics* 36, pp. 1-11, 1995

[2008_Landgrebe] Landgrebe, M., Barta, W., Rosengarth, K., Frick, U., Hauser, S., Langguth, B., Rutschmann, R., Greenlee, M. W., Hajak, G., Eichhammer, P., "Neuronal correlates of symptom formation in functional somatic syndromes: A fMRI study", *NeuroImage* 41, pp. 1336–1344, 2008

[IMT-2020] <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

[3GPP] <https://www.3gpp.org/>

[2018_Hemadeh] Hemadeh, I. A., Satyanarayana, K., El-Hajjar, M. Hanzo, L., "Millimeter-Wave Communications: Physical Channel Models, Design Considerations, Antenna Constructions, and Link-Budget", *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20, pp. 870-913, 2018

[5G_Wiki] <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>

[5G NR_Wiki] https://en.wikipedia.org/wiki/5G_NR_frequency_bands

[2018_Morgado] Morgado, A., Mohammed Saidul Huq, K., Mumtaz, S., Rodriguez, J., "A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives", *Digital Communications and Networks* 4, pp. 87–97, 2018

[2007_Valberg] Valberg, A. P., Emilie van Deventer, T., Repacholi, M. H., "Base Stations and Wireless Networks – Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences", *Environmental Health Perspectives* 115, pp. 416-423, 2007

[1998_ICNIRP] International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines on limiting exposure-to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics* 74, pp. 494–522, 1998

[1990_Lin] Lin, J. C., "Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy", O. Gandhi, Ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall,, pp. 278–318, 1990

[2004_Kappe] Kappe, C. O., "Controlled Microwave Heating in Modern Organic Synthesis", *Angewandte Chemie* 43, pp. 6250–6284, 2004

[2009_SSM] SSM:s Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, "Recent Research on EMF and Health Risks. Sixth annual report from SSM:s independent", Rep. no. 2009:36.

[2009_SCENIHR] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), "Health Effects of Exposure to EMF", 2009

[2015_SCENIHR] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), "Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)", 2015

[2019_ICES] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) - International Committee on Electromagnetic Safety (ICES), "IEEE Approved Draft Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz", IEEE C95.1-2019

[2015_NV] Sbírka zákonů české Republiky, "Nařízení vlády č. 291 / 2015 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením", Částka 120, str. 3690-3710, 2015

[2006_ICNIRP] International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP), "Icnirp statement on far infrared radiation exposure", Health Physics 91, pp. 630–645, 2006

Zpracovali: doc. Ing. Lukáš Jelínek, Ph.D.
v srpnu 2019