

1. Úvod

Intenzita využívání nejrůznějších elektrických a elektronických zařízení a v poslední době zejména tempo rozvoje bezdrátové komunikace je příčinou exponenciálně rostoucí úrovně elektromagnetického pozadí. Je proto povinností kompetentních a odpovědných pracovníků (stakeholders) vytvořit podmínky pro minimalizaci negativního dopadu provozovaných zdrojů neionizujícího elektromagnetického záření (**NIEMR – non-ionising electromagnetic radiation**) na životní prostředí, majetek a zdraví exponovaných osob.

Uvedené platí jak pro civilní sektor, tak i pro vojenství. Aby bylo možné daný požadavek efektivně zabezpečit, je nutné primárně identifikovat zdroje rizik, kritická rizika kvalitativně nebo semikvantitativně posoudit či kvantifikovat a na základě získaných výsledků navrhnout a poté implementovat adekvátní preventivní protopatření.

Analogicky jako jiné formy energie, má i NIEMR schopnost reagovat s biologickými systémy. Expozice tak může být v závislosti zejména na frekvenci a intenzitě záření a době trvání příčinou mnoha zdravotních potíží a onemocnění živých organismů, člověka nevyjímaje. Nebudou-li související rizika adekvátně vyhodnocena, může se zejména vzhledem k vysoké inkubační době projevu řady onemocnění, z nichž je působení NIEMR podezřelé, snadno stát, že si společnost připravuje závažné zdravotní a ekologické problémy. Jejich řešení ex post by nepochybně vyžadovalo o několik řádů vyšší finanční náklady ve srovnání se zavedením opatření ex ante na základě akceptace principu předběžné opatrnosti. Uvedené konstatování je ještě zvýrazněno nastupující globální hospodářskou recesí.

2. Teoretická část

Elektromagnetické záření má vlnově korpuskulární charakter, takže v některých situacích se chová jako proud světelných kvant, fotonů, jindy spíše jako vlnění. V případě vlnového pojetí jde o kombinaci příčného postupného vlnění magnetického a elektrického pole komplexně nazývaného elektromagnetické pole. Na elektromagnetické pole lze pohlížet jako na postupnou elektromagnetickou vlnu, v níž je vektor elektrického pole **E** kolmý k vektoru intenzity magnetického pole **H**. Velikost a směr obou vektorů se ve vlně rychle mění a tyto změny přenášejí energii. Směr přenosu energie elektromagnetické vlny je kolmý na rovinu tvořenou vektory **E** a **H**, přičemž rychlost šíření ve vakuu, má hodnotu $c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vlastnosti šíření elektromagnetické vlny popisují Maxwellovy rovnice (Halliday, D. et al, 2000).

Podle ionizačních účinků se elektromagnetické záření klasifikuje na ionizující a neionizující. NIEMR se rozumí záření o frekvenci $f \leq 1,7 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$, které není schopno ionizovat atomy a molekuly a s ním související **neionizující elektromagnetické pole (NIEMF)**. V následující části bude absentováno od ultrafialové, viditelné a infračervené složky elektromagnetického spektra a pozornost bude věnována technicky využívané oblasti neionizujícího NIEMR o frekvenci $f \leq 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$.

Způsoby šíření a působení elektromagnetických vln shrnuje stručně naše skupina (Božek, F. & Langerová, A. 2008). Z aspektu námi zkoumaného vlivu bočních laloků NIEMF radarů, bude rozhodující tzv. parazitní vazba, která vzniká mezi zdrojem a člověkem, kdy je vzhledem k velkým vzdálenostem vyloučena vazba induktivní a kapacitní.

Pro určení biologických účinků NIEMF sledovaných frekvencí je významný popis šíření elektromagnetické vlny ve ztrátovém prostředí, které představuje lidská tkáň. Při dopadu vlny na biologickou tkáň dochází jednak k reflexi vlny a parciálně k jejímu prostupu do tkáně. Protože relativní permeabilita μ_r tkáně je obdobná jako μ_r vzduchu, jelikož lidská tkáň je diamagnetická, zůstane příčná složka magnetické indukce po průchodu vlny do biologické tkáně zhruba stejná. Velikost amplitudy příčné složky elektrického pole se ale vlivem vyšší relativní permitivity ϵ_r tkáně zmenší. Pokud by druhé prostředí bylo nevodivé, tj. při vodivosti $\sigma \equiv 0$, vlna by jím prostoupila a pokračovala dál se změněnou vlnovou délkou. V důsledku relativně vysoké vodivosti lidského těla, kdy v závislosti na druhu tkáně $\sigma = 0,2 - 1,0 \text{ S.m}^{-1}$, vyvolá intenzita elektrického pole indukované vodivostní proudy, jež jsou příčinou vzniku Jouleova tepla v tkáni (Steinmetz, M. 2005).

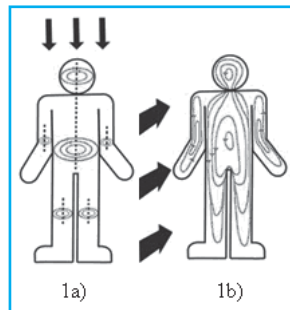
Při určování fyzikálních účinků elektrických polí je nutno respektovat, že tkáň je poměrně dobrý vodič. Elektrické pole proto neproniká do hloubky a ke vzniku indukovaných proudů dochází zejména v místech těsně pod povrchem tkáně.

Podle Faradayova indukčního zákona vzniká v přítomnosti proměnného magnetického pole v biologické tkáni elektrické pole, jež způsobuje vznik indukovaných proudů. Velikost indukovaných proudů závisí na poloměru proudových smyček, konduktivitě tkáně, míře změny a velikosti proudové hustoty. Přestože lidské tělo není elektricky homogenní, lze cestu i hodnotu indukovaných proudů v libovolné části těla odhadnout s využitím anatomických a elektrických modelů těla a výpočetních metod, které mají vysoký stupeň anatomického rozlišení. Na obr. 1a) jsou znázorněny proudové smyčky v těle při vertikálním vektoru střídavého magnetického pole a na obr. 1b) naopak při horizontálním vektoru magnetického pole směřujícím proti hrudníku (Steinmetz, M. 2005). Díky ztrátovému prostředí biologické tkáně způsobují indukované proudy rovněž tepelné účinky.

Pro NIEMR nízkých frekvencí bylo dále na skupinách dobrovolníků, jež se sami označovali za citlivé, experimentálně zjištěno podráždění nervové soustavy. Tato možná zdravotní rizika, nastávají při proudové hustotě $J \geq 0,1 \text{ A.m}^{-2}$. Pro působení indukovaných elektrických proudů je významné, že pro frekvence záření $f \geq 10^3 \text{ Hz}$ jejich účinnost s rostoucí frekvencí výrazně klesá (ICNIRP. 1998).

Mezinárodní komise na ochranu proti neionizujícímu záření (ICNIRP) na základě výše prezentovaného působení elektromagnetického vlnění a vyhodnocení dalších odborných publikací a výzkumných zpráv, v nichž se objevují výsledky pokusů na hlodavcích, primátech i skupinách dobrovolníků, tak považuje za dostatečně prokázané výhradně dva následující přímé biologické účinky NIEMR na živé organismy (ICNIRP. 1994, ICNIRP 1998):

- ohřívání tkáně těla při absorpci NIEMR pro frekvence $f [\text{Hz}] \in \langle 10^5; 3 \cdot 10^{11} \rangle$;
- působení elektrických proudů indukovaných v těle proměnným magnetickým a elektrickým polem o frekvenci $f \leq 10^7 \text{ Hz}$.



Obr. 1: Uzavírání proudových smyček v těle

V souladu s těmito fakty stanovila ICNIRP nejvyšší přípustné hodnoty a referenční úroveň dozimetrických veličin pro vyhodnocení expozičních situací elektromagnetického vlnění v oboru frekvencí f [Hz] $\in (0,0; 3 \cdot 10^{11})$. Stanovené hodnoty byly převzaty EU (European Parliament and Council, 2004) a následně inkorporovány do stávající právní úpravy ČR (vláda ČR, 2008).

Jiné biologické účinky NIEMR z výše zmíněných intervalů frekvencí považuje ICNIRP za neprokázané nebo dokonce chybné, a proto nebyly při stanovení nejvyšších přípustných hodnot a referenčních úrovní dozimetrických veličin zohledněny.

Existují však biologové a lékaři, kteří vycházejí většinou z vlastní experimentální či klinické zkušenosti (lze je označit jako nezávislé na ekonomických zájmech), kteří dospívají k závěru, že trvalá expozice NIEMR frekvencí $f \leq 3 \cdot 10^{11}$ Hz, byť podlimitních hodnot, by mohla v budoucnu při dlouhodobém působení na organismus způsobovat závažné zdravotní problémy. Lze objevit řadu odborných publikací upozorňujících, že u exponovaných osob lze zaznamenat zvýšený výskyt leukémie (Milham, S. Jr. 1983), rakoviny (Lester, J. R. & Moore D. F. 1982, Caplan, L. S. et al, 2000), srdečních, neurologických a reprodukčních poruch (Cherry, N. 2000) apod.

Při zkoumání biologických účinků dlouhodobého ozařování osob NIEMR je nutno vnímat také rozdíly mezi ozařováním v pulzním a kontinuálním režimu. Efekt pulzního záření, které je také principem funkce radarů, bývá považován za vyšší. Dlouhotrvající mikrovlnné záření pulzního charakteru, souvisí kromě výše uvedených onemocnění také se symptomy typu bolest hlavy, únava, nespavost, závratě, změny aktivity mozku a poruchy koncentrace a paměti. Vědci referují o tom, že tyto efekty v případech každodenní expozice mohou nastupovat již při velmi nízkých dozimetrických hodnotách záření (Novák, J. 2007).

Snad nejkomplexnější studie tohoto typu je výsledkem práce mezinárodní skupiny dvaceti vědců a expertů na veřejnou politiku ochrany zdraví. Vyjadřuje obavy, že dlouhodobá expozice několika typy NIEMF dává podnět ke vzniku dětské leukémie, tumorů mozku, tumorů ušního nervu, rakoviny, imunosuprese, Alzheimerovy choroby, neurologických onemocnění, aj. Obzvláště citlivou skupinu představují děti. Jsou jmenovány také vlivy týkající se poškození deoxyribonukleové kyseliny (DNA), buněčné komunikace, buněčné látkové výměny a opravných mechanismů, které kontrolují likvidaci rakovinných buněk v těle. DNA buněk rozpozná NIEMF již při velmi nízkých hodnotách expozice a reaguje na to stresovou biochemickou odpovědí. K těmto závěrům dospěla skupina po kritickém přezkoumání více než 2000 studií (BioInitiative, 2007).

Ve studii jsou vyjádřeny závažné pochyby, týkající se bezpečnosti platných zdravotních limitů pro ochranu osob před NIEMF. Zároveň jsou předloženy detailní vědecké informace o zdravotním vlivu NIEMF ve sto až tisícinásobně nižších hodnotách ve srovnání se stávajícími limity, které jsou platné ve většině průmyslových zemí Evropy včetně ČR a v USA a které byly přijaty na základě doporučení ICNIRP resp. U.S. Státní federální komise pro komunikaci (U.S. FCC).

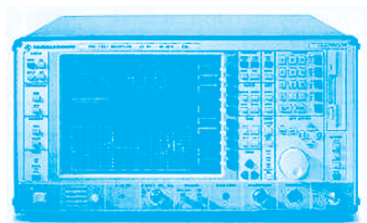
Analogické poznatky o biologickém vlivu NIEMF na živé organismy zaznamenala při studiu literatury a shrnuje i naše publikace (Božek, F. & Navrátil, J. & Dvořák, J. 2008).

3. Použitá zařízení a metody

Pro výběr vojenského zařízení ke zkoumání rizik z profesionální expozice NIEMR byl využit informační systém logistiky. K identifikaci zdrojů NIEMR byla aplikována metoda Checklist Analysis (Dickert, T.G. 1974) a pro kvalitativní stanovení priorit rizik tradiční brainstorming (Beránek, Z. et al. 1996).

K měření dozimetrických charakteristik byly použity:

- Měřicí přijímač R&S ESIB40, výrobce Rohde and Schwarz, k němuž je možno připojit měřicí antény podle studovaného kmitočtového pásma a měřit základní parametry NIEMF včetně intenzity elektrického pole E a zářivého toku S . Přijímač pracuje v kmitočtovém pásmu 20–4.10¹⁰ Hz a je zobrazen na obrázku 2.
- Měřicí souprava NARDA, kterou je možno použít v oboru frekvencí 3.10⁸–5.10¹⁰ Hz. Sonda pracuje na principu termoelektrického článku a byla použita ke stanovení efektivní hodnoty intenzity elektrického pole. Souprava je znázorněna na obr. 3.



Obr. 2: Měřicí přijímač R&S ESIB40



Obr. 3: Měřicí souprava NARDA

Měření byla provedena certifikovanými přístroji v souladu s platnými normami (vláda ČR, 2008), v místech obvyklého výskytu osob a za běžného provozu radaru. Ve spolupráci se zaměstnanci útvaru byla vybrána měřicí stanoviště, na nichž zaměstnanci tráví většinu pracovní doby. Současně byly sledovány jednotlivé osoby a zaznamenávány časové úseky, během nichž se zdržovaly na vybraných stanovištích. Dozimetrické veličiny NIEMF byly měřeny vždy pro vertikální i horizontální polarizaci přijímací antény. Anténa byla směřována vždy k jednotlivým lokátorům a záznam E a S proveden v rozsahu 2 – 4.10⁹ Hz v režimu Max Hold Peak po dobu normativně stanovenou pro dané kmitočtové pásmo, tj. po dobu 6 minut. Tento postup byl nezbytný k zachycení maximální úrovně NIEMF s ohledem na pohyb vysílacích antén radaru a impulzní charakter vysílaného signálu.

K posouzení expozičních situací a rizik profesionální expozice NIEMF byly využity dva postupy.

První postup vycházel z aktuálně platných standardů (European Parliament and Council, 2004). Pro celý obor frekvencí NIEMF, tj. f [Hz] $\in$ $\langle 0,0; 3.10^{11} \rangle$, jsou definovány zvlášť nejvyšší přípustné a referenční hodnoty pro nepřetržité expozice zaměstnanců a nižší hodnoty pro osoby v komunálním prostředí. Pro pracovní frekvence f [GHz] $\in$ $\langle 2,6; 3,1 \rangle$ u útvaru provozovaných radarů je jako nejvyšší přípustná hodnota pro profesionální expozice a pro celé tělo definována hodnota měrného absorbovaného výkonu $SAR = 400 \text{ mW.kg}^{-1}$, středovaná přes kterýkoliv šestiminutový interval. Při nepřekročení této hodnoty je riziko akceptovatelné. Pro osoby v komunálním prostředí je hodnota SAR pětinašobně nižší.

Nejvyšší přípustné hodnoty reprezentují hodnoty uvnitř tkáně a jejich přímé zjištění je obtížné. Proto byly matematickým modelováním a laboratorními experimenty pro specifické frekvence odvozeny relativně snadno měřitelné referenční dozimetrické veličiny NIEMF. V oboru námi sledovaných frekvencí jde o efektivní hodnoty intenzity elektrického pole $E_R = 137 \text{ V.m}^{-1}$, intenzity magnetického pole $H_R = 360 \text{ mA.m}^{-1}$, magnetické indukce $B_R = 450 \text{ mT}$ a hustoty zářivého toku $S_R = 50 \text{ W.m}^{-2}$. Jejich stanovení umožňuje bez náročných výpočtů nebo

měření rychle rozhodnout o nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot a akceptovatelnosti rizika. Dokonce, i když překračuje naměřená hodnota referenční úroveň, nemusí být nutně překročeny také nejvyšší přípustné hodnoty. Tehdy je nutné užít detailní metody hodnocení, specifické pro každý typ zařízení i expozici.

Ve druhém případě byl při hodnocení akceptovatelnosti rizika respektován princip předběžné opatrnosti. K tomu byly užity hodnoty referenčních úrovní dozimetrických veličin S_R eventuálně E_R stanovené direktivou (European Parliament and Council, 2004). Nejistota spojená s existencí atermických účinků při expozici osob NIEMF byla inkorporována pomocí faktoru nejistoty $UF = 10$ a nejistota spojená s individuálními rozdíly citlivosti ve formě faktoru nejistoty $UF_{SD} = 2$.

4. Výsledky a diskuze

Ke studiu rizik profesionální expozice NIEMR byl zvolen vojenský útvar X, který svým charakterem, přístrojovou technikou a vybavením splňuje kritéria přítomnosti více zdrojů NIEMR a zároveň i zvýšeného pohybu osob v blízkosti těchto zdrojů.

Jako zdroje rizik byly identifikovány radiotechnická a naváděcí zařízení pro zabezpečení letectva, elektrocentrála, zálohové zdroje elektrické energie, centrální monitorovací panel, mikrovlnné spojovací uzly a mobilní telefony, počítačová síť včetně napájecích zdrojů, počítačů a monitorů, telefonní ústředna, svářecí technika, trafostanice, rozvody elektrické energie, různé spotřebiče včetně domácích aj. (Kubíček, L. 2008). Jako kritické riziko, které bylo podrobeno bližšímu zkoumání, byl vyhodnocen pobyt zaměstnanců útvaru v NIEMF bočních laloků radarů.

4.1 Charakteristika vojenského útvaru

Útvar se nachází na kopci ve volném terénu. Vzdálenost od nejbližší obydlené budovy je větší než 1000 m. Objekt je oplocen, vstup do objektu je pouze pro zaměstnance anebo na povolení. Vlastní areál zabírá plochu kolem 2000 m². V areálu se nacházejí tři radary, které jsou rozmístěny na rozlehlé ploše a zabírají větší část objektu. Jsou situovány oproti budovám a vyvýšeny umístěním na třímetrové valy. Za běžné situace jsou alespoň dva radiolokátory v provozu. Jejich technická data jsou prezentována v tab. 1.

Tab. 1: Technická data vybraných zdrojů neionizujícího elektromagnetického záření u útvaru

Počet zdrojů	Typ zdroje	Vysílací frekvence [GHz]	Šířka impulzu [μs]	Šířka paprsku [°]	Výkon zdroje [W]
1	PRV 17	2,6-2,7	1,1-9,0	2,4	$2,4 \cdot 10^6$
1	RL 4 AS	2,8-2,9	0,2	1,4	$2 \times 8,0 \cdot 10^5$
1	P37	2,9-3,1	–	–	$5 \times 8,0 \cdot 10^5$

V objektu se nacházejí budovy strážnice, autoparku s dílnami, požární zbrojnice a budova velitelství, v níž jsou situovány služební místnost s centrálním monitorovacím panelem, kanceláře, telefonní ústředna, šatny, sociální zařízení a technická místnost. Velitelská budova se nalézá zhruba 40 m od nejbližšího radaru. Na pracovišti je nepřetržitý provoz. Pracovní doba je od 7.00 do 16.00 h, zbylou dobu zajišťuje služba, kterou tvoří minimálně čtyři zaměstnanci. Během pracovní doby se v areálu pohybuje 32 stálých zaměstnanců.

Ačkoliv radary pracují bezobslužně, je třeba odečítat data z monitorů, nacházejících se v indikační zóně radaru, kde jsou osoby vystaveny vysokým úrovním NIEMF. Během služby a po skončení pracovní doby jsou předepsány pravidelné obchůzky po celém objektu, každá v délce asi 0,5 h. Rozložení doby pobytu zaměstnanců na sledovaných stanovištích bylo zjištěno metodou pozorování a je prezentováno v tab. 2.

Tab. 2: Průměrná délka pobytu zaměstnance na exponovaných stanovištích

Číslo stanoviště	Popis stanoviště	Délka pobytu [min]
1	Stanoviště PRV 17	45
2	Stanoviště P37	15
3	Rampa u RL 4 AS	30
4	Kancelář velení	205
5	Vjezd do objektu	20
6	Kontrolní místo ochranné směny	5
7	Parkoviště techniky s dílnami	120
8	Výdejna PHM	10
9	Vchod do budovy velení	60

Pomocí metody *Checklist Analysis* byly u útvaru prokázány jisté nedostatky v oblasti managementu bezpečnosti. Směrnicemi nařízený zákaz pobytu na vyvýšených místech během provozu radarů je sice dodržován, nicméně budova velení není dostatečně odstíněna vyjma kovových sítí v oknech centrálního stanoviště obsluhy radarů. Za závažnější nedostatek lze považovat absenci specifických ochranných pracovních pomůcek, byť jsou v interních směrnících předepsány.

4.2 Výsledky měření vybraných dozimetrických charakteristik

V oboru sledovaných frekvencí f [Hz] $\in (2,6; 3,1)$ byly z důvodu možné kontroly na každém stanovišti zjišťovány úrovně dvou závislých veličin, a sice efektivní hustoty zářivého toku S [W.m⁻²] a efektivní hodnoty intenzity elektrického pole E [V.m⁻¹]. Závislost mezi oběma dozimetrickými veličinami je dána rovnicí (1) (Božek, F. & Langerová, A. 2008):

$$E = \sqrt{120\pi \times S} \quad (1)$$

Seznam stanovišť, na nichž byly dozimetrické veličiny měřeny, je uveden v tab. 2. Stanoviště byla zvolena po konzultaci s experty v oboru NIEMR a lékařem, specialistou na nemoci z povolání, jako vhodná pro následné hodnocení zdravotního rizika.

Stanoviště 1, 2, resp. 3 se nalézají v těsné blízkosti radarů PRV 17, P 37, resp. RL 4 AS. Obsluha zde provádí kontrolní obchůzky, odečítání dat z monitorů a běžnou servisní činnost při údržbě radarů a vojenské techniky. Není a technicky ani nemůže být vystavena expozici hlavního radiolokačního svazku, protože sklon anténního systému a směr svazku je zabezpečen tak, aby minimální elevační úhel činil 5° v relaci k rovině valu. Pohybuje se však v NIEMF bočních vyzařovacích smyček. Měřicí bod 4, situovaný ve vzdálenosti přibližně 40 m od radaru RL 4 AS, je významný délkou trvání expozice. Představuje prostory velitelské budovy, kde zaměstnanci tráví největší část pracovní doby. Stanoviště 5 je vjezd do objektu. Nejvzdálenější místo od kteréhokoliv z radarů a z aspektu doby expozice nejméně významné bylo stanoviště 6,

kontrolní místo při pravidelných služebních obchůzkách ostrahy areálu. Na stanovišti 7, kde se zaměstnanci zdržují rovněž delší dobu, se nacházejí dílny a parkoviště vojenské techniky. Výdejna PHM vedle velitelské budovy byla vybrána jako měřicí místo 8, neboť je lokalizována nedaleko od radarů PRV 17 a P 37. Kontrolním stanovištěm 9 bylo zvoleno prostranství před vchodem do velitelské budovy, sloužící zároveň jako prostor pro kouření, protože pohyb a pobyt osob v této zóně je také poměrně frekventovaný.

Na stanovištích byly detekovány tři vysílací frekvence, $f_a = 2,622$ GHz, $f_b = 2,766$ GHz a $f_c = 2,895$ GHz. Detekované frekvence korespondovaly s provozovanými radary. Hodnoty hustoty zářivého toku S_{Av} a intenzity elektrického pole E_{Av} středované přes šestiminutový časový interval, na stanovištích jsou zaznamenány v tab. 3. Zároveň jsou zde uvedeny hodnoty intenzity elektrického pole E_c vypočtené dle rovnice (1). Vypočtené hodnoty E_c se dobře shodují s maximálními hodnotami E_{Av} vyznačenými v tabulce tučnou kurzívou.

Tab. 3: Hodnoty dozimetrických veličin S_{Av} a E_{Av} a vypočtená hodnota E_c

Číslo stanoviště	Středovaná S_{Av} [W.m ⁻²]	Středovaná E_{Av} [V.m ⁻¹]			Vypočtená E_c [V.m ⁻¹]
		$f_a = 2,622$ GHz	$f_b = 2,766$ GHz	$f_c = 2,895$ GHz	
1	9,91	61,38	32,28	37,76	61,12
2	13,86	72,44	44,72	61,94	72,28
3	132,40	66,99	210,38	224,39	223,41
4	28,33	40,93	68,79	103,75	103,34
5	9,92	59,36	61,31	52,00	61,15
6	1,63	24,92	20,71	22,99	24,79
7	27,94	58,34	90,16	102,45	102,63
8	20,18	88,01	7,62	12,88	87,22
9	0,40	12,66	11,82	10,53	12,28

Středované hodnoty S_{Av} byly kalkulovány dle vztahu (2) z hodnot S_i naměřených v minutových intervalech:

$$S_{Av} = T^{-1} \times \sum_{i=0}^{i=T} S_i \times t_i \quad (2)$$

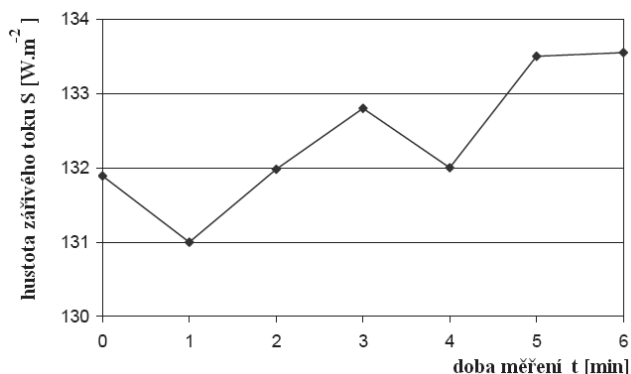
kde S_{Av} značí středovanou hodnotu hustoty zářivého toku přes časový interval $T = 6$ minut, S_i je hodnota hustota zářivého toku v čase t_i a i [min] $\in \langle 0; 6 \rangle \wedge i \in \mathbb{Z}^+$, kde $\mathbb{Z}^+$ je symbol pro množinu všech kladných celých čísel.

Středované hodnoty E_{Av} byly kalkulovány z naměřených hodnot E_i dle vztahu (3):

$$E_{Av} = \sqrt{T^{-1} \times \sum_{i=0}^{i=T} E_i^2 \times t_i} \quad (3)$$

kde E_{Av} značí středovanou hodnotu intenzity elektrického pole přes časový interval $T = 6$ minut, E_i je hodnota intenzity elektrického pole v čase t_i a i [min] $\in \langle 0; 6 \rangle \wedge i \in \mathbb{Z}^+$, kde $\mathbb{Z}^+$ je symbol pro množinu všech kladných celých čísel.

Na obr. 4 jsou znázorněny hodnoty hustoty zářivého toku S_i zjištěné v minutových obdobích na stanovišti 3. Obdobná měření byla provedena a podobné závislosti získány i na ostatních stanovištích. Získané hodnoty S_i sloužily pro výpočet středovaných hodnot S_{Av} .



Obr. 4: Hodnoty hustoty zářivého toku S_i naměřené v minutových periodách na stanovišti 3

4.3 Hodnocení zdravotního rizika

K posouzení akceptovatelnosti rizika sloužila komparace dozimetrických charakteristik S_{Av} a E_{Av} s odpovídajícími referenčními hodnotami. Je-li kvocient nebezpečí HQ definován vztahem (4):

$$HQ = S_{Av} \times S_R^{-1} \quad (4)$$

v němž $S_R = 50 \text{ W.m}^{-2}$ značí definovanou referenční hodnotu hustoty zářivého toku a S_{Av} její zjištěnou středovanou hodnotu, pak pro případy, kdy $HQ > 1$ je riziko nepřijatelné. Tehdy je nutno implementovat vhodná protipatření k minimalizaci rizika.

Hodnoty kvocientů nebezpečnosti na jednotlivých měřicích místech jsou prezentovány v tab. 4. V posuzovaném objektu je riziko rezultující z expozice zaměstnanců NIEMF s výjimkou stanoviště 3, kde $HQ_3 = 2,65$, akceptovatelné.

Hodnota S_{Av} byla při výpočtu HQ preferována oproti E_{Av} , protože lépe charakterizuje termické účinky NIEMF. Pouze ty jsou totiž v oboru frekvencí $f [\text{Hz}] \in \langle 10^7; 3 \cdot 10^{11} \rangle$ jako jediné považovány za dostatečně prokázané.

Tab. 4: Kvocienty nebezpečí pro hodnocená stanoviště

Číslo stanoviště	Kvocient nebezpečí HQ	Číslo stanoviště	Kvocient nebezpečí HQ
1	0,20	6	0,03
2	0,28	7	0,56
3	2,65	8	0,40
4	0,57	9	0,01
5	0,20		

K naprosto odlišným závěrům lze ale dospět, jestliže je respektován princip předběžné opatrnosti s ohledem na atermické účinky dlouhodobých expozic NIEMF, byť podlimitních úrovní. Jako báze pro hodnocení rizika zde byla zvolena aktuálně platná efektivní referenční hodnota intenzity elektrického pole E_R , neboť lépe vystihuje ovlivnění živé tkáně NIEMF ve srovnání s hustotou zářivého toku. Pro vysílací frekvence radarů je stanovena $E_R = 137 \text{ V.m}^{-1}$. Nejistoty ze sféry ostatních biologických účinků NIEMF lze do aktuálně platné referenční hodnoty E_R inkorporovat pomocí faktoru nejistoty $UF = 10$ dle vzorce (5):

$$E_{R(MOD)} = E_R \times UF^{-1} \quad (5)$$

kde $E_{R(MOD)}$ značí modifikovanou efektivní referenční hodnotu intenzity elektrického pole. V našem případě $E_{R(MOD)} = 13,7 \text{ V.m}^{-1}$. Zahrne-li se ještě nejistota spojená s individuálními rozdíly citlivosti ve formě faktoru nejistoty $UF_{SD} = 2$, pak v souladu s rovnicí (5) je $E'_{R(MOD)} \cong 6,85 \text{ V.m}^{-1}$.

Modifikovaný kvocient nebezpečí $HQ_{(MOD)}$ lze vyjádřit pomocí vztahu (6):

$$HQ_{(MOD)} = E_{Av} \times E'_{R(MOD)}{}^{-1} \quad (6)$$

kde E_{Av} reprezentuje nejvyšší středovanou hodnotu intenzity elektrického pole přes časový interval $T = 6$ minut. V tab. 3. je označena tučnou kurzívou.

Hodnoty modifikovaných kvocientů nebezpečí $HQ_{(MOD)}$, vypočtené dle vztahu (6), jsou prezentovány v tab. 5. Odtud je zřejmé, že je-li zahrnut princip předběžné opatrnosti ani jedno ze sledovaných stanovišť nesplňuje požadavky bezpečnosti.

Tab. 5: Modifikované kvocienty nebezpečí pro hodnocená stanoviště při akceptaci principu předběžné opatrnosti

Číslo stanoviště	Modifikovaný kvocient nebezpečí $HQ_{(MOD)}$	Číslo stanoviště	Modifikovaný kvocient nebezpečí $HQ_{(MOD)}$
1	8,96	6	3,64
2	10,58	7	14,96
3	32,76	8	12,85
4	15,15	9	1,85
5	8,95		

Záleží vždy na top-managementu subjektu, který způsob hodnocení rizika zvolí. Pro užití druhého způsobu hovoří fakt, že pokud bylo při odvození referenčních hodnot absentováno od atermických účinků NIEMF, mělo být prioritně prokázáno, že tyto účinky neexistují, spíše než se spokojit výhradně s konstatováním, že zmíněné účinky nebyly prokázány na dostatečné hladině statistické významnosti.

Nicméně přesto se stále vyžaduje prioritně předložit kvantifikovatelné a reprodukovatelné výsledky s vysokou hladinou statistické spolehlivosti včetně přístupnosti jejich nezávislému potvrzení, aby bylo možné atermické efekty považovat za prokázané a zohlednit je při stanovení hygienických limitů (ICNIRP 1994, ICNIRP 1998).

Nutno však zdůraznit, že důkazy dlouhodobých účinků NIEMF na statisticky významné hladině pravděpodobnosti se předkládají jen velmi obtížně. Zohlednit je třeba především následující skutečnosti (Božek, F. & Langerová, A. 2008):

- Současné působení komplexu faktorů, jež mají analogické efekty. Rakovinu, leukémii, srdeční, neurologické, reprodukční a jiné zdravotní poruchy vedle předpokládaného působení NIEMF vyvolává řada jiných faktorů, jimiž jsou nepochybně konzumace kontaminovaných potravin a vody, dýchání znečištěného vzduchu, dermální kontakt s kontaminovaným prostředím, hluková zátěž, UV a ionizující záření, stres, životost správa, kouření a další, dnes ještě neznámé vlivy. Zvážit je rovněž nutné zdravotní stav sledovaných osob, jejich věk, pohlaví individuální senzibilitu atd. Významné nejistoty

s sebou přináší také silná závislost vzniku, vývoje a projevu nemocí na vrozených dispozicích jedince.

- b) Vysokou inkubační dobu projevu, která bývá často vyšší než dvacet let.
- c) Minimální možnost realizovat experimenty a verifikaci účinků na lidech. Přenos výsledků získaných na zvířatech bývá zdrojem dalších nejistot.
- d) Míru přijatelnosti celoživotního navýšení výskytu karcinogenních ELCR a jim podobných onemocnění (teratogenita, mutagenita, imunosuprese aj.), stanovenou U. S. EPA pro populaci $P_o > 100$, s hodnotou $ELCR \leq 10^{-6}$, tj. výskytu jednoho nebo méně než jednoho případu onemocnění navíc na 10^6 obyvatel za 70 let. Přitom za uvedenou dobu zemře na rakovinu z $P_o = 10^6$ více než $2 \cdot 10^5$ (20 %) osob.

Lze si tudíž jen stěží představit velikost kontrolních souborů, související náklady a způsob provedení experimentu v prostředí tolika nejistot, aby bylo možné s vysokou mírou spolehlivosti prokázat zmíněné druhy onemocnění a poruch v důsledku dlouhodobé expozice osob NIEMF.

Potřebu inkorporace principu předběžné opatrnosti do procesu hodnocení rizik z nepřetržité expozice osob NIEMF paradoxně podporují i standardy elektromagnetické kompatibility. Aby nedošlo k poruchám či haváriím je odolnost elektronických přístrojů v průmyslu dána hodnotou intenzity elektrického pole $E = 10 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$. V domácnostech platí pro elektronické přístroje ještě přísnější hodnota $E = 3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ (vláda ČR, 1997). Jiná norma stanoví meze odolnosti rozhlasových přijímačů vůči NIEMF v kmitočtovém pásmu VKV, tj. v rozmezí frekvencí $f [\text{Hz}] \in \langle 3 \cdot 10^7; 3 \cdot 10^8 \rangle$, dokonce na úroveň $E \cong 0,3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, aby byl zajištěn kvalitní příjem rozhlasu (Úřad pro technickou standardizaci, normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007).

Podle právní úpravy, která v názvu paradoxně deklaruje ochranu zdraví obyvatel (European Parliament and Council, 2004, vláda ČR, 2008), však musí mít člověk odolnost vůči nepřetržité expozici NIEMF o řád až dva řády vyšší než elektronické přístroje.

Pozoruhodné také je a za zamyšlení stojí, že např. Polsko a Itálie nepřistoupily na doporučení EU a stejně jako Švýcarsko, Čína nebo Rusko mají hygienické limity v podobě referenční úrovně dozimetrických veličin stanoveny zhruba na desetinásobně nižší úrovni, než stanoví evropská i národní právní úprava (Božek, F. & Langerová, A. 2008).

Závěr

Byl vytipován vojenský útvar ke zkoumání rizik z profesionální expozice NIEMR. K identifikaci zdrojů NIEMR byla aplikována metoda Checklist Analysis a pro kvalitativní stanovení priorit rizik tradiční brainstorming. Jako kritické riziko, které bylo podrobeno bližšímu zkoumání, byl vyhodnocen pobyt zaměstnanců v NIEMF bočních laloků radarů.

U sledovaného útvaru jsou provozovány tři radary s vysílacími frekvencemi v rozmezí $f [\text{GHz}] \in \langle 2,6; 3,1 \rangle$. Aby bylo možné vyhodnotit rizika profesionální expozice NIEMF, byly měřeny hodnoty hustoty zářivého toku a intenzity elektrického pole na stanovištích, která byla vybrána na základě předchozí precizní charakteristiky místních podmínek. Měření byla provedena certifikovanými přístroji v souladu s platnými evropskými standardy. Naměřené hodnoty hustoty zářivého toku a intenzity elektrického pole v intervalu šesti minut byly využity k výpočtu odpovídajících středovaných hodnot sledovaných dozimetrických veličin.

K posouzení expozičních situací a rizik byly využity dva postupy.

První postup respektoval současné standardy. Vyhodnocení rizik spočívalo ve srovnání naměřených středovaných hodnot hustoty zářivého toku S_{Av} s efektivní referenční hodnotou hustoty zářivého toku $S_R = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Poměr obou hodnot sloužil ke stanovení kvocientu nebezpečí HQ, který byl z devíti sledovaných stanovišť překročen pouze jedenkrát. Pro toto stanoviště činila hodnota $HQ_3 = 2,65$.

Ve druhém případě byl při hodnocení rizika respektován princip předběžné opatrnosti. K tomu byla užita efektivní referenční hodnota intenzity elektrického pole $E_R = 137 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, daná standardy pro obor frekvencí $f [\text{Hz}] \in \langle 2 \cdot 10^0; 3 \cdot 10^{11} \rangle$. Nejistota spojená s existencí atermických účinků při expozici osob NIEMF byla inkorporována do hodnoty E_R pomocí faktoru nejistoty $UF = 10$. Současně byla zahrnuta nejistota spojená s individuálními rozdíly citlivosti faktorem nejistoty $UF_{SD} = 2$. Tak byla získána modifikovaná efektivní referenční hodnota intenzity elektrického pole $E'_{R(MOD)} \cong 6,85 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$. Poměr $E_{Av} \cdot E'_{R(MOD)}^{-1}$ sloužil k výpočtu modifikovaného kvocientu nebezpečí $HQ_{(MOD)}$. Uvedeným způsobem bylo zjištěno, že ani jedno z devíti sledovaných stanovišť nesplňuje požadavky bezpečnosti.

Ve vědecké komunitě se objevují vážné diskuze o oprávněnosti v evropské právní úpravě zakotvených hygienických limitů, sloužících k posouzení rizik z expozic NIEMR. Při odvození limitů byly zohledněny výhradně termické efekty v oboru frekvencí $f [\text{Hz}] \in \langle 10^5; 3 \cdot 10^{11} \rangle$ a působení na nervovou soustavu pro $f \leq 10^7 \text{ Hz}$. Přitom existuje řada studií, prokazujících dlouhodobé vlivy, byť podlimitních intenzit NIEMR, na živé organismy. Prokázat tyto atermické efekty NIEMR s dostatečnou spolehlivostí je ale velmi obtížné, zejména z důvodů existence mnoha faktorů, které iniciují tato onemocnění, vysoké inkubační doby a minimálním možností verifikovat výsledky na lidech.

Máme za to, že pokud má být při odvození referenčních hodnot absentováno od atermických účinků NIEMR, mělo být prioritně prokázáno, že tyto účinky neexistují a nikoliv naopak, spokojit se výhradně s konstatováním, že účinky nebyly spolehlivě prokázány. Při existenci stávajícího přístupu se lze oprávněně domnívat, že hygienické limity jsou nastaveny spíše podle potřeb nadnárodních společností, provozujících informační a komunikační sítě.

Pozoruhodné také je a za zamyšlení stojí, že standardy elektromagnetické kompatibility jsou ve srovnání s hygienickými limity, doporučovanými evropskou legislativou pro ochranu obyvatelstva proti NIEMR, paradoxně o řád až dva řády nižší. Kromě toho existuje řada států, jejichž hygienické limity jsou na zhruba desetinásobně nižší úrovni.

Analýza výše uvedených faktů vede autory k závěru, že při vyhodnocování expozičních situací a rizik se za současného stavu poznání jeví racionální respektovat **princip předběžné opatrnosti**. V opačném případě si vzhledem k vysoké inkubační době projevu řady onemocnění, z nichž je působení NIEMR podezřelé, společnost připravuje vážné zdravotní a ekologické problémy, jejichž řešení může být v budoucnu spojeno s obrovskými náklady.

Pokud se týká samotných ekonomických a vojenských subjektů, záleží výhradně na rozhodnutí top-managementu, který způsob hodnocení rizika zvolí.

Literatura:

BERÁNEK, Z. et al. *Cleaner Production*. Prague: CCCP, 1996.

BOŽEK, F. & LANGEROVÁ, A. Hygienic Limits versus Long-Term Effects of Non-Ionizing Radiation. In *Conference Proceedings on Security and Safety Management and Public Administration*. Prague: Police Academy of the Czech Republic, p. 44-53, 2008, ISBN 978-80-7251-289-8.

- BOŽEK, F. & NAVRÁTIL, J. & DVOŘÁK, J. Biologic Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation and Fields. In *Congress Proceedings on Interoperability in Emergency Management*. Brno: University of Defence, p. 7-15, 2008, ISBN 978-80-7392-023-4.
- CAPLAN, L. S. et al. Breast Cancer and Electromagnetic Fields. *Annals of Epidemiology*, 10(1): 31-44, 2000. ISSN 1047-2797.
- CHERRY, N. *Evidence that Electromagnetic Radiation is Genotoxic: The Implications for the Epidemiology of Cancer and Cardiac, Neurological and Reproductive Effects*. Canterbury, New Zealand: Lincoln University, 2000.
- DICKERT, T. G. *Methods for Environmental Impact Assessment*. Berkeley: University of California, 1974.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. & WALKER, J. *Fyzika, Část 3 – Elektřina a magnetismus*. Brno: VUT, nakladatelství VUTIUM, 2000, s. 850. ISBN 80-214-868-0.
- KUBÍČEK, L. *Analýza rizik z elektromagnetických polí v AČR*. [Dizertační práce]. Brno: Univerzita obrany, 2008.
- LESTER, J. R. & MOORE D. F. Cancer Mortality and Air Force Bases. *J. Bioelectricity*, 1: 77-82, 1982, ISSN 1061-9526.
- MILHAM, S. Jr. *Occupational Mortality in Washington State: 1950-1979 DHHS (NIOSH)*. Publication No. 83-116, Contract No. 210-80-0088. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, 1983.
- NOVÁK, J. *Elektromagnetické pole a zdravotní riziko (IV)*. [on line]. [cit. 2007-12-07]. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4530>>.
- STEINMETZ, M. *Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů*. Praha: ČVUT, 2005, str. 6-9.
- A Rationale for a Biologically-Based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields. [on line]. *BioInitiative 2007: BioInitiative Report*. Updated August 31, 2007 by webmaster [2007-09-08]. URL: <<http://www.bioinitiative.org/report/index.htm>>.
- ČSN EN 55020. ČSN EN 55020. Rozhlasové a televizní přijímače a přidružených zařízení – Charakteristiky odolnosti: Meze a metody měření. 3. vydání, Úřad pro technickou standardizaci, normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- Directive 2004/40/EC on the Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risks Arising from Physical Agents (electromagnetic fields). European Parliament and Council, 2004.
- Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics*, 66(1): 100-106, ICNIRP. 1994. ISSN 0017-9078.
- Guidelines on limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74(4): 494-522, ICNIRP, 1998, ISSN 0017-9078.
- Nařízení vlády ČR č. 169/1997 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility ve znění nařízení vlády č. 282/2000 Sb. Vláda ČR, 1997.
- Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před ionizujícím zářením. Vláda ČR. 2008.

Írán ještě jadernou zbraň nesestrojil. Moje vláda bude usilovat o kontakty s Íránem, které budou založeny na vzájemných zájmech a vzájemné úctě. Věříme v dialog. Nicméně v tomto dialogu představíme jasnou možnost výběru. Chceme, aby Írán zaujal své oprávněné místo ve společenství národů, a to politicky i ekonomicky. Budeme podporovat právo Íránu na mírovou jadernou energii s přísnými inspekcemi. To je směr, kterým se islámská republika může dát. Nebo může její vláda zvolit zvýšenou izolaci, mezinárodní tlak a možný závod jaderných zbraní v oblasti, který zvýší nebezpečí pro nás pro všechny.

Chci být jednoznačný: jaderné a raketové aktivity Íránu jsou skutečnou hrozbou nejen pro Spojené státy, ale také vůči sousedům Íránu a našim spojencům. Česká republika a Polsko projeví odvahu, když souhlasily, že na jejich území může být obranný systém proti těmto raketám. Do té doby, dokud íránská hrozba trvá, budeme rozvíjet ověřený systém raketové obrany s efektivními náklady. Pokud bude íránská hrozba odstraněna, budeme mít silnější základ pro bezpečnost a důvod pro budování raketové obrany v Evropě zmizí.

**Obama v Praze mluvil k světu
(z projevu amerického prezidenta Baracka Obamy v Praze)
neděle 5. dubna 2009**

<http://aktualne.centrum.cz/zahranici/evropa/clanek.phtml?id=633905>