

Zdravotní rizika radarů

Úvod

V poslední době jsme svědky celé řady desinformací o radaru v Brdech. To vyvolalo značný ohlas jak u odborné, tak i laické veřejnosti. Bohužel často se diskuse zvrhla na osobní osočování, zlehčování odbornosti jednotlivých autorů apod. Nebudeme se vyjadřovat k celému spektru politických problémů, které se vyskytují při úvahách, zda radar ano či ne, neboť náš obor jsou radary, antény a šíření vln. Proto budeme analyzovat pouze otázky škodlivosti vyzařování radaru. Ve studii [1] nejsou žádné faktické chyby, které by mohly mít vliv na posuzování zdravotního rizika. Studie [2] je napsaná seriózně, opravuje některé nepřesnosti a doplňuje řadu jevů, které chybí ve studii [1]. Z hlediska škodlivosti vyzařování neobsahuje žádné podstatné nepřesnosti.

Pokud se týká studie [3], obsahuje celou řadu zajímavých myšlenek (co všechno ve zprávě [1] chybí), ale bohužel i řadu zcela chybných údajů, takže se v žádném případě nejedná o seriózní odborné posouzení. Na námitky [4] odpověděl Ing. Hlobil [5], bohužel jeho argumentace spočívala pouze v tom, že perfektně vyvracel nesmyslná tvrzení, která se v těchto poznámkách vůbec neobjevovala, jak je popsáno níže. Patrně se dobře ilustruje to, co nazývá K. Čapek šestou figurou [6], která „záleží v tom, že se místo odpůrce, jaký skutečně je, podvrhne jakýsi světu nepodobný hasťoš, načež se tento hasťoš polemicky vyvrací. Na příklad polemizuje se s něčím, co potíraný odpůrce nikdy neměl na mysli a nikdy v tom smyslu neřekl; dokazuje se mu, že je pitomek a že se mýlí, na jakýchsi thesích, které jsou opravdu pitomé a mylné, ale nejsou jeho“.

Protože jsme odborníci v oboru radarů, antén a šíření vln, nebudeme spekulovat, či dokonce kritizovat argumenty o jiných problémech a v žádném případě netvrdíme něco, co by bylo v rozporu s našimi znalostmi a zkušenostmi. Navíc jsme jednotlivá tvrzení opírali o numerické simulace nebo údaje publikované v literatuře. Pouze reagujeme na zcela překroucená fakta – nikdo nás k této reakci nevyzýval a v žádném případě není pravda, že [5] „hlavní ideou článku pana profesora je především obhajoba studií ministerstva obrany a národní referenční laboratoře [1], bez ohledu na objektivní fakta“ – v skutečnosti [4] pouze konstatuje, že [1] a [2] jsou solidní studie zkoumající vliv mikrovln, kde nejsou závažnější nedostatky

z hlediska možných vlivů mikrovln (je zřejmé, že tyto studie zpracovávali odborníci v dané problematice).

Dále upozorňujeme pouze na nejkřiklavější chybná tvrzení [3] a [5]. Autoři studie [3] se téměř nevěnovali otázce klíčového parametru a to střední výkonové hustotě

takže bychom podle „nezvratitelných argumentů“ studie [3] potřebovali $(463/140)^4 = 120$ krát větší výkon. Jak plyne z rovnice (1) nepřinese současné zúžení šířky impulsu a zvětšení výkonu (jak navrhuje autoři studie [3]) zvětšení dosahu a domnívat se, že to libovolný výrobce radaru netuší je zcela absurdní.

Tento trend zcela zřetelně dokumentuje *tabulka 1*, kdy např. AN/SPS-49 ve srovnání s RL-64 nepoužívá $4,63^4 = 460$ krát větší výkon, ale pouze poloviční výkon, má o 8 dB nižší zisk a mnohem širší impuls než

Tabulka 1 Parametry některých typů radarů

Typ radaru	Dosah	Šířka impulsu	Impulsní výkon
ReTWis [21]	10 m	zhruba 1 ns	neudáno
RR-653 [20]	10 m – 32 km	45 ns; 200 ns; 400 ns	neudáno
RP-5G [20]	20 km	300 ns	150 kW
RL-64 [20]	100 km	1100 ns	800 kW
AN/SPS-49 [22]	463 km	125 000 ns	280 kW

a uvažují maximální výkonovou hustotu, což je pomocná hodnota.

Výkon radaru

Studie [3] používá k výpočtu dosahu všeobecně známý vztah, který se používá v řadě učebnic. Autoři použili vcelku akceptovatelnou hodnotu citlivosti pro své výpočty a proto je to zdánlivě úplně v pořádku. Bohužel uvedený vztah není použitelný, pokud zvolíme větší šířku impulsu a následně kompresi (kódování) impulsu. To ve výsledku zvětší podstatně dosah a umožní rozumné rozlišení radaru, a ve výsledku se to tedy chová prakticky stejně, jako bychom zvětšili citlivost (ta je samozřejmě omezena šumem). Proto je vhodnější použít následující vztah [7], [8] pro maximální dosah, upravený pro monostatický radar v maximu vyzařování $R_{\max}$, který je použitelný i pro mnohem širší okruh radarů

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t \tau G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 k T_s D_0 C_B L}} \quad [1]$$

kde P_t je vysílaný (impulsní) výkon, τ je šířka impulsu, G je zisk antény, σ je efektivní odrazná plocha (RCS), λ vlnová délka, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, T_s šumová teplota systému (určuje šum systému), D_0 je činitel detekce, C_B je korekční faktor šířky pásma a L jsou ztráty systému. Je zřejmé, že požadovaný dosah se docílí rozumným kompromisem mezi jednotlivými parametry při uvažování jistých hodnot parametrů cíle (odrazné plochy RCS, fluktuací atd.). Pro zajímavost budeme uvažovat AN/SPS-49 [22], kde $G = 28,5$ dBi, specifikovaný $P_t = 280$ kW, $\tau = 0,125$ ms a výrobcem uváděný dosah $R_{\max} = 463$ km. Odhadneme-li $s = 5$ m², $T_s = 500$ K a $D_0 C_B L = 10$ (viz níže) dostaneme pomocí (1) $R_{\max} = 516$ km, což je vzhledem k provedeným odhadům dobrá shoda. Naopak při použití vztahu uvedeného ve studii [3] bychom při uvažování ztrát ($D_0 C_B L = 10$) dostali $R_{\max} = 140$ km,

RL-64 (dosažení daného rozsahu je vždy kompromis mezi výše uvedenými parametry).

Oficiálně uváděná hodnota podle [2] a [11] je 170 kW impulsního výkonu. Nebudeme se zabývat spekulacemi typu, co by stalo, kdyby se použila nejnovější technologie pro zvýšení výkonu (je to stejné jako bychom argumentovali, že není možné povolit pětipatrový dům, protože by tam někdo mohl postavit stopatrový dům). Radary jsou technická zařízení, kde se nemusí diskutovat – parametry lze změřit nebo vypočítat a úvahy co se vše může přihodit, patří do oblasti politiky. Každý kdo někdy navrhoval radar, ví, že nejméně vhodný způsob zvýšení dosahu při modernizaci je zvýšit vyzařovaný výkon. Např. pro desetinásobné zvýšení dosahu by bylo nutné zvýšit 10 000krát výkon. Navíc by to umožnilo nepříteli měřit pohodlně parametry radaru ve stokrát větší vzdálenosti. Další málo vhodný způsob je zvětšit anténu (pro desetinásobné zvýšení dosahu by bylo nutné zvýšit stokrát zisk, tzn. desetkrát průměr antény). Ekonomicky (ale i technicky) nejvýhodnější způsob je zlepšit parametry na přijímací straně pomocí zpracování a kódování signálu a řízení adaptivního procesoru anténní soustavy úpravou software (pochopitelně je možné uvažovat, že se použijí i nové počítače a procesory, aby se tyto programy mohly využívat).

Úvahy o zvýšení výkonu radaru jsou klíčové pro studii [3], jak svědčí následující citace „Pokud bychom vzali jako maximální detekovatelnou hranici pro cíl $R = 6.000$ km, pak dostáváme pro $T = 4 \cdot 10^{-2}$ s a tedy $\tau = 430$ ns a tím hodnota vysílaného výkonu musí nutně vzrůst (za předpokladu zachování ostatních technických veličin) a to na hodnotu $P_v = 15,7$ GW! Při údajích o bočních lalocích s úrovní 40 dB (MO), což u výkonu znamená pokles 10 000krát, by se tedy i v těchto lalocích jednalo o výkony řádově od 23,5 kW

a v druhém případě o 157 kW v pulzu. A to již jsou výkony, které jsou na úrovni silně převyšující hodnoty v mikrovlnné troubě a výše. Asi k tomu není co dodat!“ S tím je v naprostém rozporu odpověď jednoho z autorů [5]: „V naší studii však nic takového netvrdíme. Uvádíme pouze možnosti zajištění oficiálně uváděného dosahu na cíle s minimální odraznou plochou, což je naprosto legitimní postup v každé studii. Za vhodnější reakci bych považoval výpočet minimální potřebné citlivosti a výkonu EMR pro cíl s plochou cca 0,001 m², na dálce 2000 km a 4700 km při pravděpodobnosti správné detekce 90 %.“ Jak máme daným tvrzením rozumět? Je tedy studie [3] pouze nezávazné tlachání? Navíc pro jediný (velice osamělý) impuls, uvažovaný ve studii [3] bude pro nefluktuující cíl, lineární detektor s pravděpodobností detekce 90 % a pravděpodobností falešné detekce 10⁻⁶ více než dvakrát menší dosah ($D_0 > 20$) [7]. I když pomíne „malou chybičku“ (uvedená hodnota je zhruba desetkrát větší), bylo by nutné vlivem D_0 zvětšit výkon na více než 32 GW. To je výkon zcela mimo realitu, i kdybychom místo zhruba 17 000 uvažovali 70 000 zářičů. Pro Taylorovo (ale další typy) ozáření by bylo nutné, aby výkon pro střední prvky byl podstatně větší a pak bychom dostali více než 1 MW. Přitom maximální špičkový výkon pro vlnovod v pásmu X je 0,2 – 0,29 MW, a protože se musí používat i další prvky (ať pasivní nebo aktivní) lze očekávat další podstatné snížení. Výkon 157 kW v impulsu odpovídá impulsní výkonové hustotě 10 kW/m² ve vzdálenosti zhruba 1 km a to je zhruba stejně jako střední výkonová hustota mikrovlnné trouby (1 kW/0,1 m² = 10 kW/m²). Při uvedených parametrech by radar dával střední výkon 1,7 W, což je zcela nepodstatná hodnota proti zhruba 1 kW v mikrovlnné troubě (ve vzdálenosti 1 km by se jednalo o paprsek s plochou větší než 10 m² a tedy výkonovou hustotu zhruba 0,1 Wm⁻²). Opravdu k tomu není co dodat!

Způsob kódování signálů a řada dalších podrobností o zpracování signálů patří k nejvíce utajovaným skutečnostem a přitom velmi podstatně ovlivňují parametry radaru, proto je nesmyslné o tom spekulovat. Uvedeme pouze několik poznámek. Cíl s plochou cca 0,001 m² – cílem je balistická řízená střela (BŘS). Např. [14] provádí detailní odhady poměrně malé hypotetické rakety a tyto odhady jsou řádově 1 m². Není jasné, proč by se měla uvažovat hodnota 0,001 m², která se uvádí pro některé letouny „stealth“, kde se tato hodnota dosahuje pouze v omezeném sektoru úhlů (energie se odráží do jiných směrů) a použitím absorpčních materiálů. Obě tyto možnosti jsou pro BŘS poměrně omezené, i když se objevují zprávy o možnostech použití

„stealth“ techniky (vzhledem k natočení střely směrem k radaru v různých fázích letu a rychlostem této střely, kdy většina absorpčních materiálů nebude použitelná a navíc mají tyto materiály pro široký rozsah úhlů podstatně horší vlastnosti). Navíc se běžně uvádí dosah na obvyklé cíle a neuvádí se dosah na „stealth“ cíle. Proto budeme v dalším uvažovat $\sigma = 5$ m².

Samozřejmě je možné vypočítat dosah podle rovnice (1). Budeme-li uvažovat $P_t = 170$ kW, vzhledem k velkému dosahu, tzn. malé opakovací periodě, lze uvažovat i velkou šířku impulsu $\tau = 0,01$ s, zisk antény $G = 58,5$ dBi, $\sigma = 5$ m² a $\lambda = 0,03$ m. Odhadneme-li $T_s = 500$ K a $D_0 C_B L = 10$ (což je vcelku realistický předpoklad, který je dán hlavně potenciálními možnostmi kódování a zpracování signálu – sice se zvýší C_B , ale pomocí zpracování signálů se podaří zlepšit D_0) dostaneme $R_{\max} = 12\,930$ km, což dává dostatečnou rezervu pro dosah zhruba 6 000 km. O tom, že tímto způsobem bude radar modernizován, svědčí jednak měření na atolu Kwajalein prokazující velmi široký impuls, jednak fakt, že modernizace se bude podle oficiálního vyjádření MO ČR týkat jen softwarového vybavení [10], tzn. kódování a zpracování signálů a řízení adaptivního procesoru anténní soustavy. Je vidět, že je možné pomocí uvedeného impulsního výkonu 170 kW požadovaný dosah docílit. Samozřejmě by bylo zcela mimo realitu předpokládat, že výrobce bude deklarovat ne-realistický dosah, který si může zákazník prověřit. To, že se provedla měření pomocí malé koule (která má velmi malé σ stejné pro všechny úhly dopadu) svědčí o tom, že se tento údaj důkladně prověřoval.

Modernizaci software (zpracování a kódování signálu, řízení adaptivní antény atd.) lze použít nejen pro stávající, ale i zcela nové radary, takže se jedná o velice ekonomické řešení. Plně si uvědomujeme nutnost dalšího vzdělávání, jak poučuje Dr. Pokorný a dobře si uvědomujeme pokrok ve výrobě vysílacích a přijímacích modulů, ale žádný výrobce se nebude řídit zbožným přáním autorů studie [3], aby místo modernizace software měnil anténu a tisíce modulů a prováděl nová detailní měření a nastavování antény a radaru u výrobce, což by bylo srovnatelné s cenou nového radaru (cena antény bývá až polovina ceny radaru a při použití více a dražších modulů by byla cena této „modernizované“ antény mnohem větší), nemluvě o tom že takový radar (při $T = 4 \cdot 10^{-2}$ s a $\tau = 430$ ns) by byl zcela nefunkční pro hledání BŘS.

Zisk antény, vzdálenost mezi prvky a Fresnelova zóna

Zisk podle Ing. Hlobila je „nadnesený“. Použijeme pro výpočet několik zcela různých

postupů. Použijeme-li výpočet [15] dostaneme zisk 60 dBi. Tento zisk bude ve skutečnosti menší (zhruba o 1,5 dB), neboť vzdálenost mezi prvky (jejich středy) je větší než $2,5 \lambda$ [12] bez ohledu na zcela nesmyslný argument Ing. Hlobila, že apertura je tvořena ústím trychtýřů, které se vzájemně dotýkají. Kdyby vzdálenost byla menší než 1λ (3 cm), muselo by se použít mnohonásobně víc prvků.

Uvažujeme-li plochu antény 105 m², dostaneme pro účinnost 50 % (která odpovídá deklarovaným postranním lalokům) zisk 58,5 dBi. Podobně při uvážení počtu prvků, zisku prvku (trychtýře) a účinnosti dostaneme 58 dBi, což odpovídá výše uvedeným hodnotám a pro další výpočty používáme hodnotu 58,5 dBi. Pokud bychom uvažovali výkon 4,5 MW (i když později oficiálně upřesněná hodnota podle [2], [11] je 170 kW), dostaneme, že maximální hodnota 10 kW/m² bude ve vzdálenosti zhruba 5,1 km a vzhledem na menší vzdálenost (viz níže) dostaneme zhruba 4,9 km. Tato hodnota se dále sníží vlivem ztrát v jednotlivých částech napájecí trasy (např. fázovače), ale tuto hodnotu bychom museli pouze odhadovat a proto ji neuvádíme.

Nezpochybujeme velikost Fresnelovy zóny, uváděnou Ing. Hlobilem, ale ve své praxi jsme museli vícekrát určovat hustoty výkonu i v malé vzdálenosti od antény. V menší vzdálenosti pouze roste kvadratická chyba (pomineme-li bezprostřední okolí antény) – snižší se samozřejmě zisk a pro elevaci 2°, tzn. 10. a další postranní laloky (smyčky – sidelobes), se již vzdálenější laloky nezvyšují. Proto i svá tvrzení jsme pro radar v Brdech přepočítávali pro vzdálenost 800 m a předpokládané Taylorovo rozložení (které je optimální z hlediska úrovně postranních laloků a efektivity) pro –50 dB. Pro uvedená tvrzení odkazujeme na [16], [12], část 4-24, tab. 4.42, 4.43 a obr. 4.33 a proto neuvádíme své výpočty, které jsou s nimi v souladu.

V ČR se vývojem fázovaných řad a antén s velmi nízkými laloky zabývalo několik pracovišť [20] a [24]. Proto nás nepřekvapují informace [11], že klíčem technologii, která je použita u antény systému GBR-P, jsou přísnější nároky na tolerance antény a řízení funkce ozáření apertury, řízení systematických, náhodných a vedlejších chyb při návrhu antény. Činnost systému potlačení postranních laloků lze pochopit uvážením činnosti adaptivního procesoru anténní soustavy, kdy je váhový faktor (fáze a amplituda) aplikován na každý prvek antény, které jsou pak kombinovány. Řízením váhových faktorů, díky adaptivní smyčce diagramu antény, mohou být generovány nuly v jakémkoliv směru, díky interferometrickému působení daného počtu souborů prvků. Tedy počet nul, které mohou být tvarovány, je roven počtu prvků mínus jedna, což je někdy představováno

jako počet stupňů volnosti soustavy. Totéž lze aplikovat na skupiny prvků kombinovaných do dílčích soustav, což snižuje požadavky na zpracování pro fázované soustavy na rozumnou míru. Adaptivní soustava antény tedy nabízí potenciál umístění nul anténního diagramu do postranních smyček při udržení diagramu hlavní smyčky. Potenciálně to umožňuje i digitální tvarování svazků.

Podle [11] radar vyžaduje vytvoření bezletové zóny, která by významně nepřesáhla v žádném z navrhovaných míst hranice již existující bezletové zóny nad vojenskými újezdy a nenarušila by letecké koridory. Bezpečná zóna kolem radaru znamená, že v okruhu 13,5 km od radaru není přípustné v leteckých prostředcích transportovat výbušné látky, v okruhu 8,6 km se nesmějí ve vzduchu pohybovat nechráněné osoby (např. rogalá) a v okruhu 4,5 km nesmějí létat žádné dopravní prostředky. Po zemi se neautorizované osoby nesmí pohybovat v okruhu 0,5 km (na území vojenských újezdů beztak není legální vstup bez povolení možný).

Na povrch země budou dopadat pouze postranní laloky (s potlačením více než 10 000) a proto na zemi bude tato hodnota nižší než hodnota uvedená v nařízení vlády – ve vzdálenosti větší než 0,5 kilometr bude vliv radaru podstatně menší než vliv mobilního telefonu. Podobně pro hlavní svazek v důsledku rozmítání svazku bude střední hodnota menší než $0,18^2/12,5^2 = 0,0002$ hodnoty v hlavním svazku a je tedy pouze dvakrát větší než hodnota vlivem postranních laloků a bude směřovat nad vrcholky všech kopců. To znamená, že ve vzdálenosti několik set metrů bude vliv z hlediska střední výkonové hustoty menší než pro mobilní telefon. I kdybychom uvažovali možné digitální tvarování svazků (které by přineslo jednak rychlejší rozmítání, tak i sledování více cílů), snížil by se výkon vyzařovaný do jednotlivých svazků a tím i výkonová střední hustota.

Šíření vln

Pokud se týče šíření vln, obsahuje studie [3] opravdu velký výběr zcela nesprávných tvrzení. Proto uvádíme pouze některá chybná tvrzení:

- Mezní výkonová hustota 10 kW/m^2 v př. 2 (situace na věži meteorologického radaru na kopci Praha – ozařování pracovníků). Citujeme [4] „Pro uvedenou vzdálenost by již tato hodnota nepřekročovala 10 kW/m^2 ani pro maximum vyzařování. Protože by se nejednalo o maximum, byla by tato hodnota o zhruba 15 % nižší, navíc pro zaměstnance platí pětikrát vyšší limit (podle nařízení vlády musí zaměstnavatel zajistit, aby zaměstnanci prováděli údržbu na anténě v době, kdy není radar v provozu).“ Odpověď Ing. Hlobila [5]

„Patnáctiprocentní pokles ozáření na okraji směrové charakteristiky nic nevyovídá, když neznáme přesné výkonové parametry radaru EBR určeného pro Brdy.“ je opět zcela nesmyslná (účelové spekulace o neznámých parametrech).

- Studie [3] příloha 7 o atmosférických vlnovodových kanálech. Citujeme [4] „Jde o velmi suggestivní výklad, který je založen na 50 let starém článku (Sdělovací technika 7/1954: Homogenita atmosféry). Uvedený jev byl samozřejmě mnohokrát pozorován, ale pro skutečné posouzení vlivu by bylo nutné podrobně analyzovat nejen obecná tvrzení, ale i fyzikálně možné parametry indexu lomu, výšky vrstvy, vliv na změnu úhlu elevace atd. podobně jako v článku [13], kde jsou uvedené podrobné numerické simulace a měření prováděná v západních Čechách i v případě vlnovodového kanálu. Navíc byly hodnoty indexu lomu podrobně v Čechách zkoumány – viz [13] a citované odkazy. Tvrzení studie [1], že se z hlediska škodlivosti vyzařování jedná o nepodstatný jev, je přijatelné.“ Z uvedeného nevyplývá sebemenší náznak popírání fyzikálního jevu (vlnovodový kanál). Tvrzení Ing. Hlobila [5] „Proč pan profesor zpochybňuje fyzikální jevy?“ je tedy zcela nesmyslné. Vlnovodový kanál obvykle vzniká pro vodorovné paprsky či směřující k zemi (to jsou případy, které uvádí Ing. Hlobil – radar v Brdech bude ovšem směřovat nahoru) a vyskytuje se v Čechách poměrně zřídka (při šíření nad mořem jde o vcelku pravidelný jev) – pro horizontální paprsek je nutné, aby $dn/dh < -157 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$, což se v nejhorším měsíci vyskytuje v méně než 10 % [17]. Aby se vlnovodový kanál objevil pro vyšší elevaci, je nutné, aby byla tloušťka vrstvy dostatečně velká a $dn/dh < -157 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ – např. pro elevaci $0,25^\circ$ musí být pro tloušťku vrstvy 50 m hodnota $dn/dh < -350 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ [18] tato hodnota dn/dh se vyskytuje v podstatně méně než 1 % v roce [17]. Navíc to není dostatečná podmínka – např. anténa by nemohla být nad touto vrstvou. Pro nejnižší elevaci radaru 2° je zobrazen ve studii [2] pro $dn/dh = -40 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ (standardní atmosféra) a $dn/dh = -160 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ průběh ohybu paprsku a je vidět, že se bude paprsek mírně ohýbat, takže pro blízké vzdálenosti (do 12 km) je vliv případného vlnovodového kanálu zcela nepodstatný. To znamená, že autoři studií [1] a [2] tento jev analyzovali a zanedbali jej jako nepodstatný. Vlnovodový kanál pro elevaci 2° je v Čechách téměř nemožný (potřebnou tloušťku vrstvy a dn/dh nikde na světě nezaznamenali, i když možná by se mohla vytvořit zcela výjimečně nad mořem). Bez ohledu

na tento fakt plyne z podrobné studie [13], kterou Ing. Hlobil zcela záměrně ignoroval, závěr presentovaný i v řadě dalších pramenů, že se vlnovodový kanál i pro $dn/dh = -400 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ uplatňuje pro dopad paprsku na zem až ve větší vzdálenosti a pak se jedná o takový pokles, že dostaneme úrovně mnohonásobně menší než maximální meze (to samozřejmě nijak nepopírá, že je možné přijímat rozhlasové a televizní vysílání a pozorovat cíle pomocí radarů, zatímco mez pro maximální impulsní výkonovou hustotu ze zdravotního hlediska je 10 000 W/m^2 , je z hlediska citlivosti radarů naprosto dostatečná maximální výkonová hustota 10^{-14} W/m^2 , tzn. jedná se o 18 řádů nižší hodnotu). Pro ilustraci budeme uvažovat zcela extrémní případ, který by asi nemohl v Čechách vůbec vzniknout: tloušťka vrstvy 300 m (ve výšce 700 až 1000 m, aby byla anténa v této vrstvě), $dn/dh < -2000 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ a vzdálenost $D = 16 \text{ km}$. Pro nejnižší elevaci radaru $\Phi = 2^\circ$ by přímočarý paprsek směřoval do výšky $16 \cdot \tan \Phi = 559 \text{ m}$. Pro tento zcela extrémní případ by se snížila výška s uvažováním ohybu paprsku podle [13] (předpokládáme $n_0 = 1,0003$) o

$$\Delta = \frac{1}{2} \frac{dn}{dh} \cos \Phi \frac{D^2}{1 + n_0} = 256 \text{ m} \quad [2]$$

To má několik důsledků – pokles výšky 256 m bude stále nižší než vzrůst výšky vlivem nejnižší elevace (559 m) a daný velice úzký svazek ($0,18^\circ \times 0,18^\circ$) se sice bude ohýbat, ale téměř se nebude deformovat ($\cos \Phi$ se bude lišit od 1 velice málo pro malé Φ a změnu $0,18^\circ$), což znamená, že pokles energie bude prakticky stejný jako při šíření ve volném prostoru. Ve vzdálenosti 16 km bude proto jak střední, tak maximální výkonová hustota mnohem menší než jsou povolené meze – bylo by to více než desetkrát i pro maximální výkon 4,5 MW (a pro 170 kW více než 260krát) a více než 100krát pro střední hodnotu.

- Studie [3] příloha 9 dopředný odraz. Zabýváme se odraznou plochou cílů pro různé úhly dopadu vlny, a proto víme, že dochází k dopřednému odrazu (rozptylu) v přímém směru a že dopředná odrazná plocha může být výrazně větší než monostatická. Tento jev se zcela běžně využívá pro bistatické radary [23]. Daný jev také dobře osvětluje [19]. Dopředný odraz (forward scattering) je ve skutečnosti stín, který vrhá uvažovaný objekt v konečné vzdálenosti. Odraz v tomto směru lze uvažovat jako vlnový paprsek, který asymptoticky ruší dopadající pole pro vlnovou délku blízkou k nule. Stín (dopředný odraz) nezávisí na celkovém tvaru uvažovaného tělesa, ale je určený pouze velikostí a geometrií obrysu (roz-

hraním mezi světlem a stínem). Takže podle [4] skutečně platí: „Dopředný odraz je měřítkem rozptýleného výkonu v přímém směru, tzn. ve stejném směru jako dopadající pole. Tento výkon je obvykle v protifázi a to znamená, že se od dopadajícího pole odečítá, takže se vytvoří oblast stínu za objektem [14] a ozaření v přímém směru se zmenší (jedná se o stejný omyl, jako bychom počítali intenzitu stínu měsíce a tvrdili, že během zatmění slunce dojde k zvýšení jasů)!“ Domníváme se, že tento

příklad může daný problém vysvětlit i naprostým laikům. Pro mírně poučené laiky uvádím, že zpětné záření reflektorové antény je velmi malé, i když z hlediska napáječe (např. trychtýře) se jedná o dopředný odraz. Že Ing. Hlobil nepochopil poznámky pro odborníky, bychom chápali, ale že nepochopil ani názorný příklad pro naprosté laiky je poněkud překvapující. Jako perličku lze uvést, že výpočty dopředného odrazu ve studii [3] jsou chybné – dopředný odraz nemá vůbec nic společného s monostatickou odraznou plochou [14], [19] a [7], tzn. pro letouny „stealth“ by byly výpočty podle [3] o 4 řády nižší (i když je monostatická odrazná plocha pro letouny „stealth“ o několik řádů nižší než pro běžné letouny, jsou dopředné odrazy řádově stejné pro „stealth“ i běžné letouny). Je zřejmé, že Ing. Hlobil má pozoruhodné encyklopedické znalosti z oboru radiolokace a šíření vln, ale vůbec nechápe základní principy a proto může psát zcela nesmyslná tvrzení – např. „Rétorická forma vyjádření pana profesora, (...že „zastínění slunce více svítí“, atd.) má asi zpochybnit dopředný rozptyl (odraz), který je však fyzikálně znám a využíván více než 50 let.“ Zcela pomínou fakt, že záměrně citoval zkresleně. Ve skutečnosti je dopředný odraz (stín) znám asi od počátků lidské civilizace.

- Studie [3] příloha 9, příklad 3. Šířka svazku (nula - nula) je pro lineární rozměr $D = 2$ m (trup letadla) zhruba [14],

$$\Theta_0 = 57\lambda/D = 57 \cdot 0,03/2 = 0,89 [^\circ] \quad [3]$$

a proto pro $175,7^\circ$ nedochází k dopřednému odrazu. Pro tento úhel je odrazná plocha prakticky stejná jako pro zpětný odraz a proto v uvedené vzdálenosti už je odražený výkon mnohonásobně menší (nezvětšuje se)!

- Průchodem skla dopravního letadla se vlivem odrazů a útlumů bude signál zmenšovat!

- Tvrzení [3], že „... agentura BMDO, která ale nespecifikuje přesně důvody, pouze případ „změkčuje“, uvádí, že je nutná spolupráce mezi operátory radaru XBR a orgány řízení letového provozu tak, aby nedošlo k ozařování letounů hlavním svazkem do vzdálenosti 50 km“ patrně nemá žádnou spojitost se zdravotními hledisky, ale elektromagnetickou kompatibilitou (opatření, aby se jednotlivá elektronická zařízení vzájemně nerušila) – např. nedovolené používání mobilních



**Obr. 1 Anténa radarů RL-41 až RL-64 [20]
s impulsním výkonem 800 kW používaná na řadě letišť
(pro radar v Brdech je oficiálně uváděný impulsní výkon 170 kW)**

telefonů v letadle způsobuje chybu navigačních přístrojů 30° , podobně nemá být zapnutý mobil blíže než 15 cm od kardiostimulátoru. Pro dokreslení lze uvést, že elektromagnetické bomby, které vyzařují řádově výkon 10 GW (mnohem více než tisícinásobek impulsního výkonu uvažovaného radaru) po dobu 1 ns, mohou zneškodnit elektroniku na relativně krátkou vzdálenost (např. zastaví automobil na několik stovek metrů, takže by byly nebezpečné i pro kardiostimulátory), ale jinak neohroží život lidí.

- Difrakce na hraně kopce by sice mohla výkon za kopcem mírně zvýšit (pro větší výšky), ale výkon při zastínění velmi rychle klesá (bude-li se jednat o směr, který se dotýká vrcholu hrany, dojde již k podstatnému poklesu výkonu za kopcem na 25 % – při uvažování zaoblené překážky by se uplatňoval další dodatečný pokles). K připomínce o difrakci na hraně kopce a průchodu elektromagnetického záření sklem letadla Ing. Hlobil píše: „Pan profesor difrakci na hraně kopce připouští, ale jeho argument, že pokles výkonu je v tomto případě 25 % o neškodnosti záření nic nevypo-

vídá, když neznáme parametry radaru EBR. Totéž platí o zpochybňování rizika záření do kabin letounů.“ Opět lze citovat část „Výkon radaru“.

- K případu spolupráce mezi operátory radaru XBR a orgány řízení letového provozu: Opět nesmyslné tvrzení, které Ing. Hlobil předouvá, se ve vyjádření [4] nikde nevyskytuje: „Případnou spolupráci operátorů radaru XBR s orgány řízení letového provozu tak, aby letouny do 50 km nebyly ozařovány (ať již

z důvodu ozařování osob nebo elektromagnetické kompatibility) považují při hustotě letového provozu nad ČR za nezodpovědnou improvizaci.“

Závěr Ing. Hlobila [5] lze v lepším případě hodnotit jako vrchol demagogie: „Polemiku profesora Schejbala nelze považovat za objektivní z těchto důvodů:

Při hodnocení studií [1], [2] jsou přehlížena zásadní pochybení týmu, který prováděl měření na atolu Kwajalein a zpracovával studie:

- Měření ve směru postranních laloků bylo provedeno chybně. Postranní laloky se začínají tvarovat teprve ve střední (Fresnelově) zóně (asi 4 km od antény) a začátkem vzdálené (Fraunhoferovy) zóny – asi 8 km od antény, kdy teprve lze pole považovat za rovinné. Každému odborníkovi, mezi které pan profesor zajiště patří, jsou tyto zákonitosti známy, včetně toho, že pole lze definovat až od začátku vzdálené zóny, kde je soustředěno 90 % vyzářeného výkonu. Proto jsou náhodná měření v několika bodech blízké zóny na Kwajaleinu bezcenná.
 - Vůbec nebylo provedeno měření ve směru hlavního svazku, takže deklarovaná bezletová zóna 8,6 km není potvrzena měřením – hodnotu uvedla americká strana.
 - Bez věcné argumentace a výpočtů jsou zlehčovány reálné fyzikální jevy při šíření vln (atmosférické vlnovodové kanály, dopředné rozptyly, difrakce svazku) a je činěn negativní závěr.
 - Parametry teprve vyvíjeného radaru EBR nejsou známy a z tohoto úhlu pohledu mají měření na atolu Kwajalein nulovou vypovídací hodnotu. Toto musí být každému odborníkovi v oboru radiolokace naprosto zřejmé.
- Je s podivem, že tato závažná pochybení ušla pozornosti pana profesora, který pracoval v UVR Opočíněk na anténním oddělení, kde se zabýval výzkumem radarových antén a šířením vln. Vážím si věcné a objektivní diskuse, v tomto případě ale musím konstatovat, že hlavní ideou

článku pana profesora je především obhajoba studií ministerstva obrany a národní referenční laboratoře [1], [2] bez ohledu na objektivní fakta.

Skutečně odborná a objektivní diskuse je podle mého názoru možná až po korektním zveřejnění parametrů radaru EBR určeného pro Brdy. Výkon a jeho přesná definice by měly být nezbytně doplněny a zveřejněny v základní smlouvě s USA. Je to jediná slušná cesta k dialogu s občany ČR.“

Uvedený závěr je bohužel zcela nevěrohodný a zcela záměrně překrucuje fakta:

- Měření bylo provedeno na povrchu a evidentně neprokázalo žádné překročení daných limitů. Toto měření je zcela v pořádku a prokazuje splnění nejdůležitějšího požadavku nařízení vlády. Tvzení o postranních lalocích je naprosto nesmyslné, jak již bylo zmíněno.
- Měření hodnoty ve směru hlavního svazku při rozmitání svazku není rutiní měření podle příručky. Technicky nelze realizovat měření např. pro vzdálenost 5 km, tzn. ve výšce $5 \cdot \tan 2^\circ = 175$ m nad středem antény bez přítomnosti osob (a pochopitelně není možné použít třeba vrtulník, který by zcela změnil měřené hodnoty). Podobně výstavba věže (200 m) s nízkými odrazy by byla nesmírně obtížná [14].

Navíc to není nutné, neboť podle nařízení vlády: Dodržení nejvyšších přípustných hodnot modifikované proudové hustoty indukované v těle, měrného v těle absorbovaného výkonu a hustoty zářivého toku se zjišťuje výpočtem nebo měřením buď na modelech (fantómech) lidského těla nebo jeho částí, nebo hodnot intenzity elektrického pole, magnetické indukce, hustoty zářivého toku, kontaktního a indukovaného proudu tekoucího kteroukoli končetinou, nebo hustoty dopadnuvší zářivé energie, zjištěných pro posuzovanou situaci, a jejich srovnáním s referenčními úrovněmi těchto veličin upravenými v příloze č. 1 k tomuto nařízení, tabulkách č. 4 až 11. Opět lze citovat odstavec „Výkon radaru“.

Závěr

Ve studiích NRL pro neionizující elektromagnetická pole a záření SZU nejsou žádné faktické chyby, které by mohly mít vliv na posuzování zdravotního rizika. I prof. Raida, který je pověstný svými pečlivými posudky, kritizuje pouze formální chyby studie [1], popř. z hlediska škodlivosti vyzařování nepodstatné nepřesnosti – např. vliv difrakce na hraně. Další studie [2] a [10] jsou napsané seriózně, opravují některé nepřesnosti a doplňují řadu jevů a údajů, které chybí ve studii [1], které nebyly známy v době psaní. Z hlediska škodlivosti vyzařování neobsahují žádné podstatné nepřesnosti. Bohužel tyto studie jsou psány příliš stručně a pro laickou veřejnost málo čitelně. Výtka, že se tyto studie nezabývají funkčními vlastnostmi

radaru, je zcela irelevantní – psali ji odborníci na zdravotní rizika mikrovln – nikoho by nikdy nenapadlo, aby autorům zprávy o škodlivosti vyzařování TV vysílače vytýkal, že se nezabývají uměleckou náplní vysílaných pořadů.

Studie [3] je skutečně literární skvost. Mistrně používá odborné terminologie, popisuje řadu jevů, které si vysokoškolsky vzdělaní lidé pamatují ze studií, dává ilustrativní příklady a obrázky a tak hladce přesvědčí laiky o vědeckých kvalitách této analýzy. Nemůžeme se vyjadřovat k celému spektru politických problémů, které se vyskytují při úvahách, zda radar ano či ne, neboť náš obor jsou radary, antény a šíření vln. Bohužel pokud se týká základních principů radaru a zejména antén a šíření vln je tato studie pouze řada trapných omylů. Řada kolegů, kteří se věnují návrhu radarů, pokládají studii [3] za poměrně zdařilý příklad záměrné desinformace. Na rozdíl od těchto kolegů se domníváme, že autoři studie [3], kteří mají pozoruhodné encyklopedické znalosti, se příliš spoléhají na různé poučky bez snahy o pochopení příslušné fyzikální reality a tak dobře dokumentují čínské rčení: „Pokud něco slyšíš, tak to zapomeň, pokud to čteš, tak si to zapamatuješ a pokud něco děláš, tak to pochopíš.“

Výzkum, vývoj a výroba radarů mají v ČR šedesátiletou úspěšnou tradici. To dokládají stovky radarů, instalovaných na celém světě, vedoucí postavení v pasivní lokaci (Tamara či dnes Věra představují bezesporu světovou špičku), články o českých radarech, které jsme na vyžádání publikovali ve špičkových amerických „impaktovaných“ časopisech [20], [24] a konferencích. Proto pokládáme za svou morální povinnost se ostře ohradit, aby autoři studie [3] zesměšňovali výsledky nás všech, kteří se na vývoji českých radarů podíleli – jaká by byla naše úroveň, kdybychom se ostře nedistancovali od jejich zkrslých a zcela nesmyslných názorů?

Vzhledem k uvedeným skutečnostem jsme uvítali opravdu objektivní zhodnocení parametrů radaru [10], které provedli specialisté a ne někdo sice s pozoruhodnými encyklopedickými znalostmi, avšak se zcela zřejmým nepochopením základních principů pouze na základě zcela nesmyslných spekulací.

Prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.,
Ing. Josef Šroll
Univerzita Pardubice

LITERATURA

- [1] Bednarčík, P., Marek, L., Komárek, Z., Pekárek, L.: *Předběžné posouzení vlivu radiolokační stanice EBR (European Based Radar) na zdravotní stav populace v okolí vojenského újezdu Brdy*. Praha: Ministerstvo obrany ČR, Srpen 2007.
- [2] Jelínek, L., Pekárek, L.: *Informace č. 15/2008 NRL pro neionizující elektromagnetická pole a záření*, červenec 2008.
- [3] Pokorný, P., Hlobil, M., Kaucký, S.: *Technické*

a provozní aspekty XBR radaru v Brdech. <http://www.blisty.cz/art/41815.html>.

- [4] Schejbal, V.: *Nic není bez rizika, aneb několik poznámek k radaru v Brdech – polemika s opo-
nentní studií k radaru autorů Pokorný, Hlobil, Kaucký* <http://www.blisty.cz/art/41897.html>.
- [5] Hlobil, M.: *Ani profesor fyziky nezpochybnil fyzikální jevy. Britské listy.* <http://britske-listy.cz/art/41942.html>.
- [6] Čapek, K.: *Marsyas čili na okraj literatury, 1948*, Praha: Fr. Borový.
- [7] Skolnik, M. I.: *Radar handbook, 1990*. Boston: McGraw-Hill. ISBN 0-07-057913-X.
- [8] Bezoušek, P., Šedivý, P.: *Radarová technika, 2004*, Praha: ČVUT.
- [9] Schejbal, V.: *Uvítal bych opravdu objektivní zhodnocení parametrů radaru. Připomínky k odpovědi ing. Hlobila.* www.blisty.cz/art/42127.html.
- [10] Jelínek, L., Pekárek, L.: *Vládní experti: elektromagnetické pole vyzařované plánovaným brdským radarem nepředstavuje zdravotní rizika (reakce na článek autorů P. Pokorný, M. Hlobil, S. Kaucký s názvem „Technické a provozní aspekty XBR radaru v Brdech“)* www.blisty.cz/art/42315.html.
- [11] *Základní informace o radaru, technické parametry*. Ministerstvo obrany ČR. <http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=8763>.
- [12] Milligan, T. A.: *Modern Antenna Design, 2005*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- [13] Grábner, M., Kvičera, V.: *Clear-Air Propagation Modeling Using Parabolic Equation Method*. *Radioengineering*, vol. 12, no. 4, 2003, p. 50–54. www.urel.feec.vutbr.cz/RADIOENG/info/scope.php
- [14] Knott, E., Shaeffer, J., Tuley, M.: *Radar cross section. 2nd ed. 2004*, Raleigh: SciTech Publishing, Inc. ISBN 1-891121-25-1.
- [15] Schejbal, V.: *Directivity of planar antennas*. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 1999, vol. 41, no. 2, p. 60–62. ISSN 1045-9243.
- [16] Hacker, P., Schrank, H.: *Range distance requirements for measuring low and ultralow side-lobe antenna patterns*. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 30, no. 5, 1982, p. 956–966.
- [17] Grábner, M., Kvičera, V.: *Refractive Index Measurement at TV Tower Prague*. *Radioengineering*, vol. 12, no. 1, 2003, p. 5–7. www.urel.feec.vutbr.cz/RADIOENG/info/scope.php
- [18] *Recommendation ITU – R P.834-2*. 1997.
- [19] Ufimtsev, P. Ya.: *New Insight into the classical MacDonald physical optics approximation*. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, no. 3, 2008, p. 11–20.
- [20] Schejbal, V.: et al. *Czech radar technology*. *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, 1994, vol. AES - 30, no. 1, p. 2–17. ISSN 0018-9251.
- [21] http://www.retia.eu/gallery/list_RETIA_ReTWis_angl_0.pdf
- [22] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/systems/an-sps-49.htm>
- [23] Bezoušek, P., Schejbal, V.: *Bistatic and Multistatic Radar Systems*. *Radioengineering*, 2008, vol. 17, no. 3, p. 53–59.
- [24] Bezoušek, P., Schejbal, V.: *Radar technology in the Czech Republic*. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2004, vol. 19, no. 8, p. 27–34.