

Jan Kráčmar (ČHMÚ)

NOVÝ RADAR BRDY V SÍTI CZRAD

New weather radar station Brdy in the CZRAD network. On the hill Praha (862 m a.s.l.) in Brdy mountains, a new weather radar station was built in cooperation of CHMI and the Czech Army, replacing the current sites of MRL-5 weather radars. The station is equipped with the Doppler weather radar DWSR-2501C with digital receiver EDRP-8, both from Enterprise Electronics Corporation, USA. The radar is controlled remotely from CHMI, Prague-Libus. The Czech weather radar network (CZRAD) consists of radars Brdy and Skalky and serves to purposes of both, Czech national and military weather services.

KLÍČOVÁ SLOVA: stanice meteorologická radiolokační – radiolokátor dopplerovský – síť radarová – radiolokace

1. ÚVOD

Meteorologické radary poskytují okamžitou informaci o rozložení, struktuře a intenzitě srážkové oblačnosti na velké ploše. Na území ČR byla pravidelná manuální radarová měření konána od začátku 70. let [10, 11]. Novou etapou meteorologické radiolokace v civilní i vojenské hydrometeorologické službě otevřela digitalizace radarů MRL-5 v roce 1993 [4], následovaná instalací radaru nové generace na Skalkách [3]. Instalací radaru na Brdech byla ukončena modernizace české radarové sítě a zároveň doplněno pokrytí celého území ČR dvěma radary, provozovanými ČHMÚ pro potřeby civilního i vojenského sektoru. Článek seznamuje s technickým řešením meteorologické radiolokační stanice Brdy a se současným stavem české meteoradarové sítě CZRAD.

2. VÝSTAVBA METEOROLOGICKÉ RADILOKAČNÍ STANICE BRDY

2.1 Radarová stanice Brdy

Na konci 90. let stály civilní i vojenská hydrometeorologická služba před úkolem obnovy starší generace meteorologických radiolokátorů sovětské výroby typu MRL-5, později automatizovaných pomocí maďarského modifikačního doplňku WRP-32C [4]. V případě ČHMÚ se jednalo o stanoviště Praha-Libuš, užívané již od počátku 70. let postupně pro radar Tesla RM-2 [11] umístěný na budově observatoře a následně MRL-2 [10] a MRL-5 [4] na radarové věži. Povětrnostní ústředí Armády ČR (dříve Hydrometeorologická služba AČR) provozovalo radary MRL-5 na stanicích Chrudim a Bechyně. Žádné ze stanovišť radarů MRL-5 nebylo optimální z hlediska radiohorizontu [5], proto bylo pro nové radary hledáno vhodnější umístění.

Při optimalizaci umístění meteorologického radaru AČR

byly v r. 1997 vypočteny radiohorizonty [5] pro 14 stanovišť v oblasti Čech. Jako ideální se díky centrální poloze a absenci stínících překážek jeví vysoké polohy Brdské vrchoviny, nacházející se ve Vojenském výcvikovém prostoru Jince. Nejvyšší vrchol Tok (865 m) však nebyl vhodný jak ze stavebně-technických důvodů, tak i pro blízkost cílové plochy vojenské střelnice [1]. Druhý nejvyšší vrchol Brd, kopec Praha (862 m), je dopravně poměrně dobře dosažitelný a vybavený základní infrastrukturou. Na jeho plochém vrcholku ve výšce 860 m n. m. se již nacházel menší vojenský objekt a ocelová věž s příhradovou konstrukcí o výšce 35 m.

Namísto plánované výstavby nového meteoradaru pro AČR a obnovy radaru ČHMÚ v Praze-Libuši se na podzim 1997 dohodli zástupci ČHMÚ a AČR na společném postupu při výstavbě meteorologické radiolokační stanice na kótě Praha v Brdech, sloužící potřebám obou rezortů. Radarové pokrytí tohoto stanoviště plně nahrazuje stávající instalace MRL-5 a zlepšuje je zvláště v jižních a západních směrech (obr. 2), též v zájmové oblasti letiště Praha-Ruzyně. Spolu s radarem Skalky [3] tak zajišťuje plné pokrytí území ČR pouze dvěma meteorologickým radary pro výstražné účely i pro radiolokační odhady intenzity a úhrnů srážek [12].

Po radě jednání s příslušnými vojenskými složkami (jmenujme alespoň OMVL MO, KVUSS Plzeň a VÚ 3255 Praha) bylo na přelomu let 1997/98 přijato ekonomické řešení sdružené investice, v jejímž rámci armáda investovala výstavbu věže, pomocného objektu a modernizaci potřebné infrastruktury na kopci Praha v Brdech. ČHMÚ přitom financoval dodávku a instalaci radaru.

Projektové práce výstavby a rekonstrukce objektů na kótě Praha provedla firma Techniserv, s.r.o., která na základě požadavků armády a ČHMÚ zpracovávala od května 1998 projekt 55 metrů vysoké železobetonové radarové věže o kruhovém



Obr. 1 Meteorologická radiolokační stanice Brdy na kopci Praha. Foto I. Papoušková.

Fig. 1. Weather radar station Brdy on the hill Praha. Photo by I. Papoušková.

půdorysu s šestnáctibokou nástavbou na vrcholu a čtyřmi ochozy pro umístění komunikačních zařízení (včetně televizního vysílače) ze stávající věže (obr. 1). Vedle rekonstrukce stávajících objektů byla vyprojektována též nová přízemní budova, sloužící pro technické zázemí provozovatelů zařízení: ČHMÚ a Českých radiokomunikací. Stavební povolení vydal Vojenský stavební úřad v dubnu 1999.

Stavební práce provedla firma Teplotexna Ostrava, a. s. ve velmi dobré kvalitě a v rekordním čase v období od května do října 1999, se stavební připraveností pro montáž radaru v polovině října 1999. Většina stavebních prací tak probíhala ve dvoj- a trojsměnném provozu v horských podmínkách během jediné letní sezony, při zachování trvalé funkce stávajících vojenských zařízení. Technická montáž radiolokátoru EEC proběhla bez problémů v posledních dvou říjnových týdnech roku 1999, ještě před nástupem zimních podmínek. V listopadu 1999 byla celá stavba dokončena a převzata správcem objektu, KVUSS Plzeň.

2.2 Radiolokační systém

Na jaře 1998 byly na základě zkušeností, získaných v rámci evropské spolupráce v projektech COST-75 a LGO-EWRN (nyní EUMETNET OPERA) a několika let provozu radaru Gematronik Meteor 360 AC, zadány podrobné podmínky výběrového řízení na nový radiolokační systém. Administrativu výběrového řízení, následný dovoz zařízení a související služby pro ČHMÚ realizoval Omnipol, a. s. V říjnu 1998 byly vyhodnoceny došlé nabídky firem:

- Enterprise Electronics Corporation, USA;
- Gematronik GmbH, SRN;
- Kavouras Inc, USA se softwarem firmy SIGMET Inc., USA;
- Sofreavia, Francie s radarem firmy Thomson CSF Airsys a softwarem firmy GAMIC mbH.

V prosinci 1998 byl uzavřen kontrakt na dodávku radaru DWSR-2501C s digitálním přijímačem EDRP-8 od americké firmy Enterprise Electronics Corporation (dále EEC). Tovární školení a testy (FAT) radaru se konaly v Enterprise v Alabamě (USA) v září 1999, montáž technologie na věži pak na konci října. Počátkem listopadu 1999 byl již radar připraven k převzetí, vyjma nového prvku, digitálního přijímače EDRP-8,

který byl nakonec demontován a v polovině prosince přechodně nahrazen klasickým analogovým přijímačem s osvědčeným signálním procesorem ESP-7. Od ledna 2000 jsou data z radaru Brdy integrována do sítě CZRAD a v distribuci uživatelům plně nahradila data z radaru MRL-5 Praha-Libuš. V červenci 2000 firma EEC instalovala upravenou verzi digitálního přijímače EDRP-8. Po funkčních testech byl začátkem srpna 2000 kompletní radarový systém úspěšně převzat do plného užívání. Následně mohl být definitivně ukončen provoz radarů MRL-5 v ČHMÚ (Praha-Libuš) a PŮ AČR (Bechyně).

3. METEOROLOGICKÝ RADAR EEC DWSR-2501C

Meteorologické radary EEC DWSR-2500/2501C patří mezi standardní přístroje v pásmu C (vlnová délka 5,3 cm, frekvence 5,6 GHz) se středním výkonem (ca 250 kW), určené především pro provoz v mírných zeměpisných šířkách. Jsou následníky úspěšné výrobní řady DWSR-92/93 C, jejíž exempláře jsou instalovány např. na pracovišti SHMÚ Malý Javorník u Bratislavy nebo jako součásti modernizované rakouské radarové sítě. Od svých typových předchůdců se liší především použitím polovodičových spínacích prvků v modulátoru vysílače namísto tradičního tyatronu. Varianta DWSR-2501C navíc obsahuje digitální přijímač EDRP-8, který bude diskutován dále.

Součástmi radarového systému EEC DWSR-2501C, instalovaného na stanici Brdy-Praha, jsou:

- parabolická anténa s mechanikou a laminátovou ochrannou kupolí, umístěná na vrcholu věže,
- skříně vysílače a přijímače včetně digitalizace přijímaného signálu, umístěná v horním patře věže a spojená vlnovodem s anténou,
- skříně řízení radaru, obsahující signální procesor, řízení antény, napájecí zdroj a kompresor s dehydrátorem, umístěná vedle přijímače s vysílačem v horním patře věže,
- řídicí pracovní stanice DEC Alpha se softwarem EDGE, pracující pod operačním systémem Digital UNIX, instalovaná v horním patře věže a připojená k radaru pomocí lokální počítačové sítě Ethernet,
- přenosová trasa mezi kopcem Praha a pracovištěm ČHMÚ Praha-Libuš, využívající ve spolupráci s AČR mikrovlnných pojítek o přenosové rychlosti 2 Mbit/s s protokoly TCP/IP,
- kontrolní pracovní stanice DEC Alpha se softwarem EDGE na pracovišti ČHMÚ Praha-Libuš,
- připojení do centra sítě CZRAD na pracovišti Praha-Libuš, kde jsou v aplikacích pod operačním systémem UNIX vytvářeny a distribuovány uživatelské produkty a prováděna archivace.

Základní schéma funkce a blokového rozložení systému je analogické s radarem Gematronik Meteor 360 AC na stanici Skalky, který byl podrobně popsán v [3]. Pro oba radary je společný bezobslužný provoz, dálkové řízení, výhradně digitální datový výstup, užití dopplerovského filtru pozemních odrazů, objemové snímání dat odrazivosti, možnost měření dopplerovských rychlostí. Základní technické parametry obou systémů (šířka anténního svazku, vlnová délka, vysílaný výkon) jsou srovnatelné, jak je zřejmé z tab. 2. Hlavní pozornost proto bude věnována spíše koncepčním odlišnostem obou systémů. Obecné technické parametry radaru EEC DWSR-2501C jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Technické parametry radaru EEC DWSR-2501C.

Table 1. Technical parameters of the EEC DWSR-2501C weather radar.

ANTÉNA	(parabolická)
průměr antény	4.27 m
zisk antény	45 dB
šířka anténního svazku	1.00°
úroveň bočních laloků	max. -25 dB
přesnost polohy antény	0.10°
rychlost otáčení v azimutu	max. 6 ot/min.
rozsah pohybu v elevaci	- 2 až + 95°
VYSÍLAČ	(osazen magnetronem)
vysílaná frekvence	v rozsahu 5.3 až 5.7 GHz (pásmo C)
Impulzní výkon	250 kW
délka pulzu	0.4; 0.8; 2.0 us
pakovací frekvence	250 až 1200 Hz
PŘÍJÍMAČ	(digitální EDRP-8)
dynamický rozsah	≥ 100 dB
min. detekovatelný signál	- 115 dBm
min. zpracovatelná odrazivost	10.5 dBZ ve vzd. 240 km

Tab. 2 Operativní technické charakteristiky radarů sítě CZRAD.

Table 2. Operational technical characteristics of weather radars in CZRAD network.

Radarová stanice	Skalky	Brdy-Praha
Výrobce	Gematronik (D)	EEC (USA)
Typ radaru	METEOR 360AC	DWSR-2501C
Software	RAINBOW 3.1	EDGE 4.62
Signální procesor	RVP-6	EDRP-8
Anténa:		
Průměr	4.2 m	4.27 m
Šířka svazku	0.8°	0.95°
Zisk	44 dB	45 dB
Polarizace	lin. horiz.	lin. horiz.
Boční laloky	max. - 25 dB	max. - 25 dB
Přesnost polohy antény	0.10°	0.10°
Rotační rychlost v azimutu	max. 6 ot/min.	max. 6 ot/min.
Rozsah pohybu v elevaci	- 2...+ 92°	- 2...+ 92°
Vysílač:		
Modulátor	s tyatronem	s polovodič. spínačem
Frekvence	5654 MHz	5660 MHz
Vlnová délka	5.31 cm	5.3 cm
Impulzní výkon	250 kW	305 kW
Délka pulzu	2.0 us	0.8 us
Přijímač:		
Typ	log.+lin.	digitální IF
Min. det. signál	- 109 dBm	- 110 dBm
Dynamický rozsah	> 85 dB	> 100 dB
Mezifrekvence	30 MHz	30 MHz
Min. detekt. Z_e	8.5 dBZ	10.6 dBZ
v max. vzdál.	260 km	256 km
PRF	560 Hz	584 Hz

3.1 Dopplerovské zpracování signálů, digitální přijímač EDRP-8

Pulzní dopplerovské radary můžeme dělit podle koheren- ce vysílaného signálu na:

1. radary s klystronem ve vysílači jsou plně koherentní, fáze vysílaného signálu zůstává zachována mezi jednotlivými

pulzy, neboť klystron pracuje jako zesilovač signálu odvo- zeného z místního oscilátoru;

2. radary s magnetronem ve vysílači, které označujeme jako koherentní na příjmu. Při každém pulzu startuje magne- tron s náhodnou počáteční fází, která je zachována pouze během jednoho pulzu.

Oba dopplerovské radary v síti CZRAD (Brdy, Skalky) používají jako vysílací elektronku koaxiální magnetron. Dále se tedy budeme zabývat pouze dopplerovským zpracováním dat u radarů koherentních na příjmu.

Při dopplerovském zpracování je určována radiální rych- lost cíle prostřednictvím posunu frekvence odraženého signá- lu oproti vysílanému. Tento frekvenční posun, typicky řádu desítek až stovek Hz, je velmi malý ve srovnání s vysílaným kmitočtem řádu GHz a nelze jej měřit přímo. Nejčastěji je frekvenční posuv měřen prostřednictvím změny fáze odraže- ného signálu mezi dvěma po sobě následujícími pulzy; tato metoda je nazývána Pulse Pair Algorithm a implementována v signálním procesoru. Protože u magnetronových radarů je fáze vysílaného pulzu náhodná, je potřeba pro každý pulz zís- kat referenční hodnotu, vůči níž by bylo možné fázi přijatého signálu měřit. Fáze vysílaného pulzu je zapamatována po celou dobu příjmu v koherentním oscilátoru (COHO), starto- vaném každým pulzem magnetronu a kmitajícím na mezi- frekvenčním kmitočtu (obvykle 30 MHz) se stabilní fází. Samotná fáze přijatého signálu je určována prostřednictvím směšování přijatého signálu na mezifrekvenci se signálem tohoto koherentního oscilátoru. Smíšením přijatého signálu se signálem COHO, který je ve fázi s vysílaným pulzem, vzni- cá signál I (ve fázi), smíšením se signálem koherentního osci- látora fázově posunutým o 90° pak signál Q. Analýzou sig- nálů I a Q v komplexní rovině lze získat průběh amplitudy a fáze odraženého signálu vzhledem k vysílanému pulzu během celé dráhy radarového pulzu. Časové změny fáze sig- nálu mezi dvojicí následných pulzů, naměřené v určité vzdá- lenosti od radaru, jsou úměrné radiální rychlosti cíle, deteko- vaného v příslušném místě.

U běžných dopplerovských radarů s analogovým přijíma- čem (např. radar Gematronik Meteor 360 AC na Skalkách) probíhá podstatná část dopplerovského zpracování včetně fázové detekce analogově. Pro pokrytí plně dynamiky příjí- maného signálu probíhá zpracování odrazivosti a radiálních rychlostí cílů na mezifrekvenci (30 MHz) ve dvou oddělených kanálech souběžně:

1. Intenzitní kanál, označovaný logZ, je vybaven mezifrek- venčním zesilovačem s logaritmičnou charakteristikou, pokrývající plnou dynamiku signálu (80 dB a více). Amplituda výstupního signálu je přímo úměrná radiolo- kační odrazivosti cíle Z.
2. Dopplerovský kanál s lineárním zesilovačem má pouze omezenou dynamiku (ca 30 až 50 dB). Užívá fázový detektor pro porovnání fáze přijatého signálu se vzorkem vysílaného pulzu, zapamatovaného v koherentním oscilá- toru (COHO). Výstupem dopplerovského kanálu je pak dvojice signálů I a Q (ve fázi a posunutý o 90°).

Signály logZ, I, Q z výstupu analogového přijímače jsou digitalizovány v signálním procesoru se vzorkovacím kmi- točtem řádu 1 MHz. Signální procesor zpracovává digitalizo- vaná data v reálném čase, provádí jejich průměrování, kalib- rací a různé korekce, odstraňující rušivé pozemní cíle a nespo- lehlivá data. Výstupem signálního procesoru jsou data radio- lokační odrazivosti korigovaná dopplerovským filtrem

Z a bez tohoto filtru U, dopplerovské rychlosti V a šířka dopplerovského spektra W.

K eliminaci pozemních cílů se u koherentních radarů používá především dopplerovský filtr, který u koherentních radarů potlačuje odrazy s přibližně nulovou dopplerovskou rychlostí. Cíle s naměřenou radiální složkou rychlosti vzhledem k radaru v pásmu $0 \pm \delta_v$ jsou potlačeny dle hloubky filtru teoreticky o max. 40 – 50 dB, v praxi obvykle o něco méně. Dopplerovské filtry jsou implementovány v signálních procesorech RVP-6 a EDRP-8 v několika modifikacích, lišících se šířkou filtru $\pm \delta_v$. Podle šířky filtru může dojít i k potlačení části meteorologických cílů ve směrech kolmých na směr proudění (kde je radiální složka rychlosti nulová). Za běžných situací je nastavena šířka pásma potlačení pozemních odrazů $\pm \delta_v$ na max. 0.75 – 1.0 m/s (pro 10 dB potlačení). Při tomto nastavení ještě nedochází ke zřetelným ztrátám meteorologických cílů (vyjma směrů kolmých na proudění), avšak pozemní cíle jsou do značné míry odstraněny. Další zvětšení šířky filtru již eliminaci podstatněji neovlivní.

Pro vyloučení nejsilnějších pozemních odrazů by samotné zeslabení dopplerovským filtrem nebylo dostatečně účinné, proto je v signálním procesoru zaveden dodatečný mechanismus CCOR (= Clutter Correction Threshold, práh korekce pozemních odrazů). Cíle, u nichž hodnota potlačení dopplerovským filtrem přesáhne nastavenou hodnotu CCOR (např. – 27 dB), jsou považovány za příliš silné, a tudíž jsou eliminovány úplně. Určitým nedostatkem metody CCOR je fakt, že radarový odraz je v daném místě zrušen včetně případné meteorologické složky. Dalším pomocným mechanismem pro zajištění kvality dat je dále vyloučení slabých signálů s odrazivostí nízkou nad úrovní šumu (pod prahem šumu, nastavovaným v praxi na ca 1 dB). Obdobnou roli má SQI (= Signal Quality Index, index kvality signálu), který potlačuje data dopplerovských rychlostí s nízkou koherencí (a tedy obvykle zašuměná). Na parametru koherence SQI je založena i doplňková metoda eliminace cílů bez platné dopplerovské rychlosti v software EDGE.

Novým prvkem v konstrukci meteorologických radarů, využívajícím pokroky v technice zpracování signálů, je užití digitálního dopplerovského zpracování mezifrekvenčního signálu, obchodně označované jako digitální přijímač. Digitální přijímač EDRP-8 užívá pouze lineární mezifrekvenční zesilovač s rozšířenou dynamikou (ca 100 dB), které je dosaženo kombinací dvou lineárních zesilovačů pro slabší a pro silnější signály. Mezifrekvenční signál (o frekvenci 30 MHz) je digitalizován již před fázovou detekcí se vzorkovacím kmitočtem 38 MHz, takže je zachována i fázová informace. Veškeré další zpracování probíhá číslicově. Koherentní oscilátor (COHO) je nahrazen zapamatovaným digitalizovaným vzorkem pulzu vyslaného magnetronem. Fázová detekce na signály I a Q je naprogramována v signálním procesoru. Dopplerovská rychlost je opět určována z rozdílu fáze po sobě následujících pulzů, v budoucnu se počítá s aplikací rychlé Fourierovy transformace (FFT). Odrazivost cíle Z je vyhodnocena přímo z amplitudy složek I a Q, není potřebný oddělený intenzitní kanál. Výhodou digitálního přijímače je kromě větší přesnosti a dosahu zpracování dopplerovských dat i možnost snadné aktualizace algoritmů zpracování pomocí změny firmware.

Prvním komerčně nabízeným digitálním přijímačem byl RVP-7 od firmy SIGMET v druhé polovině 90. let. Dnes nabízejí obdobná zařízení všichni významní výrobci meteorologických radarů. Aplikací digitálního přijímače EDRP-8 na

radaru Brdy, který byl druhým v pořadí od firmy EEC vůbec, bylo získáno zlepšení parametrů zpracování dopplerovských rychlostí, zvláště pak potlačení pozemních odrazů. Digitální přijímač EDRP-8 nabízí teoretické potlačení cílů s nulovou radiální rychlostí (tj. rychlostí vzhledem k anténě radaru) až o ca 47 dB. K dispozici je 15 filtrů, lišících se šířkou pásma potlačení. U skutečných pozemních odrazů nemusí být dopplerovská rychlost přesně nulová, ať již vlivem jejich vlastního pohybu (např. kmitání korun stromů ve větru), nebo nepřesností, vznikajících na dráze signálu nebo v samotném radaru (pohyb antény, nekoherence vysílaného signálu, šumy ve zpracování apod.). Reálné hodnoty potlačení pozemních cílů při otáčející se anténě se pak pohybují obvykle v rozmezí 30-35 dB.

3.2 Řízení radaru, software EDGE

V koncepci firmy EEC je řízení radaru dvoustupňové, rozložené mezi:

- signální procesor EDRP-8 (v předchozí verzi ESP-7), zabudovaný v radaru,
- radarový software EDGE, běžící pod operačním systémem UNIX na pracovní stanici DEC Alpha.

Úkolem signálního procesoru je především digitalizace a prvotní zpracování přijatého signálu v reálném čase do formy výstupních dat radiolokační odrazivosti a dopplerovských rychlostí. V koncepci firmy EEC je v signálních procesorech ESP-7 a EDRP-8 zároveň integrováno řízení radaru. Signální procesor tak přijímá povely od software EDGE, podle nich ovládá jednotlivé subsystemy radaru, zpět předává stavové informace BITE a předzpracovaná naměřená data po jednotlivých paprscích. Součástí signálních procesorů ESP-7 a EDRP-8 je i deska RCP s procesorem Z80, zajišťujícím řízení antény, a komunikační subsystem s procesorem Motorola 68360. Komunikace mezi signálním procesorem a pracovní stanicí EDGE probíhá pomocí standardních protokolů TCP/IP po lokální počítačové síti Ethernet. Funkce signálního procesoru jsou pevně programovány ve firmware, parametry nastavení si signální procesor po startu nahrává z řídicí pracovní stanice, které předává i všechna naměřená data. Během měření jsou data Z, U, V, W postupně po jednotlivých paprscích přijímána softwarem EDGE od signálního procesoru a ukládána ve sférických souřadnicích (vzdálenost, azimut, elevace) jako objemová data. Po ukončení objemového snímání je soubor těchto surových dat uložen na disk a použit pro tvorbu dvourozměrných obrazových produktů v kartézských souřadnicích.

Řídicí a zobrazovací software radarů EEC – EDGE je aplikací v prostředí operačního systému UNIX – zde Digital UNIX na pracovní stanici DEC Alpha. Jádrem systému EDGE je soustava programů běžících na pozadí (v UNIXové terminologii: „démonů“). Nejdůležitějším z těchto výkonných programů je REX (= Radar Executive), který interpretuje uživatelské příkazy, komunikuje se signálním procesorem v radaru, spravuje tabulku časování objemových měření, přijímá data měřená radarem, vytváří objemová data a ovládá vytváření zadaných produktů z objemových dat. Příkazové a konfigurační soubory pro REX jsou textové soubory, editovatelné i mimo prostředí EDGE; umožňují tak definování složitějších režimů snímání sledovaného prostoru (např. změnu rychlosti otáčení antény po jednotlivých elevacích během objemového snímání). Prostřednictvím programu REX lze ovládat radar i ze vzdáleného textového terminálu (telnet).

Interaktivní částí programů EDGE je celobrazovkové grafické prostředí, vytvořené v jazyce IDL a pracující pod

X-Windows. Umožňuje přímé ovládání radaru, zobrazení aktuálních „živých“ dat a stavu radaru, prohlížení radarových produktů a jejich tvorbu z archivních objemových dat, definování objemových měření a následných produktů, časování automatického spuštění jednotlivých objemových měření a tvorby produktů. Řízení radaru je umožněno z kterékoliv pracovní stanice EDGE, neboť grafické prostředí EDGE nekomunikuje s radarem přímo, ale předává příkazy „démону“ REX, běžícímu na pracovní stanici u radaru. Radar tak lze provozovat i bez spuštěného grafického prostředí EDGE.

Výše uvedená koncepce řízení radaru EEC je odlišná od systému užívaného firmou Gematronik pro radar Meteor 360AC na Skalkách [3], kde je řízení třístupňové: na nejnižším stupni signální procesor RVP-6 od firmy SIGMET, na středním stupni počítač Rainbow DAC, který vytváří soubory objemových dat a řídí subsystémy radaru včetně pohybu antény, a na nejvyšším stupni grafické prostředí RAINBOW, které je pro funkci systému nezbytné. Komunikace mezi Rainbow DAC a uživatelským prostředím RAINBOW probíhá off-line, takže není možné např. interaktivní ovládání radaru, sledování polohy antény, stavu radaru nebo „živých“ dat, rovněž možnosti definice objemového snímání a produktů jsou menší.

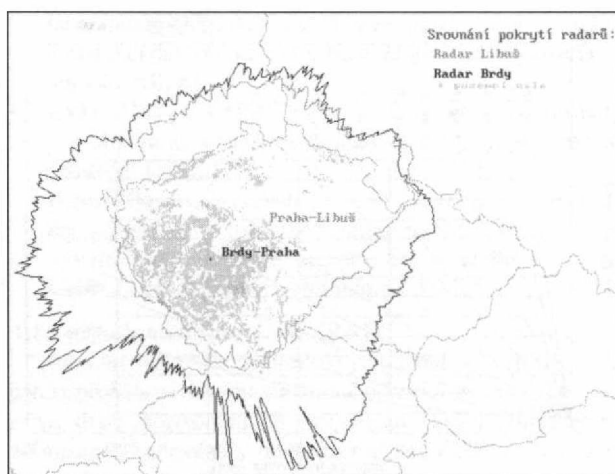
3.3 Struktura přenosů dat z radaru Brdy

Data produkovaná meteorologickým radiolokátorem je možno podle stádia zpracování dělit na následující kategorie:

1. Surové digitalizované vzorky z výstupu signálního procesoru: jedná se o proud dat základních veličin Z , U , V , W v reálném čase o rozsahu řádově MByte/s. Přesné množství dat závisí na radiálním počtu vzorků na paprsku, počtu zpracovaných paprsků za jednotku času (dle tangenciálního průměrování a opakovací frekvence radaru) a počtu přenášených veličin, bývají též doplněna údajem o aktuální elevaci a azimutu antény, případně též o stavové informace radaru. Tato data jsou přenášena po rychlé sběrnicí (např. SCSI, Ethernet 10 Mbit/s, příp. prostřednictvím DMA) ze signálního procesoru do hostitelského počítače.
2. Objemová data vznikají předzpracováním a shromážděním vzorků ze signálního procesoru do sférických souřadnic. Jsou vytvářena v radarovém procesoru nebo hostitelské pracovní stanici. Množství dat v závislosti na parametrech měření bývá řádu MByte, po kompresi řádu 100 kByte až 1 MByte. Jsou zdrojem pro zpracování obrazových produktů.
3. Produkty zpracování objemových dat, určené pro přímé zobrazení, jsou obvykle dvourozměrné v kartézských souřadnicích. Množství dat bývá řádu desítek (max. stovek) kByte, v závislosti na rozměru, datovém obsahu a při kompresi též na zobrazené povětrnostní situaci.

Radarový software obvykle používá distribuované zpracování a zobrazování dat. Na radaru Brdy posílá radarový procesor EDRP-8 pakety surových dat po síti Ethernet prostřednictvím TCP socketů v téměř reálném čase do pracovní stanice u radaru. V této pracovní stanici přijímá software EDGE na pozadí přicházející pakety surových dat a formuje z nich objemová data. Předzpracovaná surová data jsou zároveň rozesílána ve formě UDP datagramů pro zobrazení dalšími pracovními stanicemi se softwarem EDGE. Po ukončení objemového snímání zaznamenává pracovní stanice u radaru objemová data do souboru a generuje obrazové produkty k zobrazení.

Radar Brdy je připojen armádním radioreléovým spojem o přenosové rychlosti 2 Mbit/s a s protokolem TCP/IP, který



Obr. 2 Srovnání radarového pokrytí dle kritéria COST-73 pro radary Libuš a Brdy, teoretický rozsah pozemních cílů stanice Brdy.

Fig. 2. Comparison of radar coverages according to COST-73 criteria between radars Libuš and Brdy; theoretical extent of ground clutter for Brdy radar station.

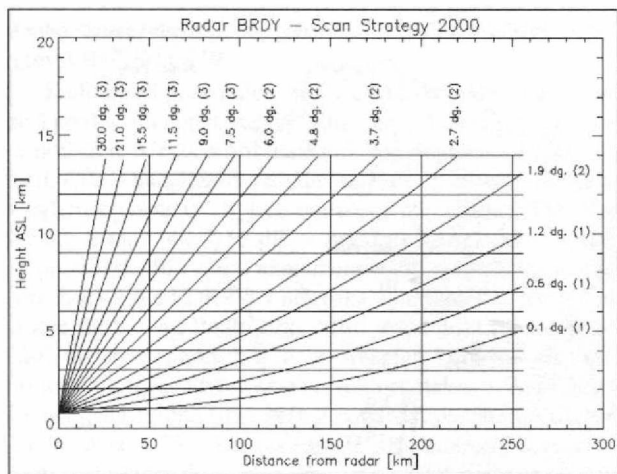
dovoluje trvalý přenos všech naměřených dat a stavových informací v téměř reálném čase na druhou pracovní stanici EDGE v Praze-Libuši. V centru sítě v Praze jsou archivovány soubory objemových dat a obrazové produkty v interním formátu ČHMÚ [3, 4]. „Živá data“ slouží především pro okamžitou kontrolu funkce radaru a interaktivní nastavování parametrů. Vzhledem k tomu, že jde o data snímána na jednotlivých elevacích PPI anténou s úzkým svazkem, potřebnou vypovídací schopnost pro meteorologii má až výsledný obrazový produkt.

3.4 Integrace radaru Brdy do sítě CZRAD

Radarová stanice Brdy na kótě Praha má velmi dobrý radiohorizont, jehož průměrná úhlová výška je pouze $-0.35 \pm 0.17^\circ$. Vyvýšená poloha stanoviště s velmi dobrým rozhledem přináší viditelnost podstatné části terénu Čech. Pozemní odrazy jsou způsobeny detekcí terénních předmětů, jednak přímo hlavním lalokem antény při nízkých elevačních úhlech v celém dosahu radaru, jednak v blízké zóně radaru (do ca 30 km) bočními laloky antény i při vyšších elevacích. Značná část dosahu radaru do ca 180 km je pokryta pozemními odrazy, část z nich je velmi silná (50 dBZ a více). Teoretický rozsah pozemních cílů ukazuje obr. 2.

V praxi je ve většině případů dosaženo kombinací dopplerovského filtru, prahu CCOR a dodatečné eliminace osamělých pixelů velmi dobrého potlačení pozemních odrazů. Dopplerovský filtr je ovšem citlivý na koherenci radaru a správné nastavení signálů I a Q lineárního kanálu přijímače. V případě zhoršení dopplerovských parametrů radaru (např. nestabilitou, nesprávným nastavením nebo opotřebením součástek v přijímači nebo vysílači) se mohou objevit pozemní cíle v různém rozsahu. Navíc za situací se silnějším větrem mohou zůstat neodfiltrovány odrazy od některých zalesněných horských hřebenů, což je zřejmě způsobeno kývavým pohybem korun stromů za větru.

Parametry objemového snímání jsou optimalizovány tak, aby interval obnovy dat byl co nejkratší (10 minut a méně). U radaru Brdy je nyní používána posloupnost 14 elevačních úhlů pro vytvoření objemového pokrytí do výšky 12 km



Obr. 3 Strategie objemového snímání, operativně užívaná na radaru ČHMÚ Brdy; pořadové číslo subscanu je označeno u elevačního úhlu.

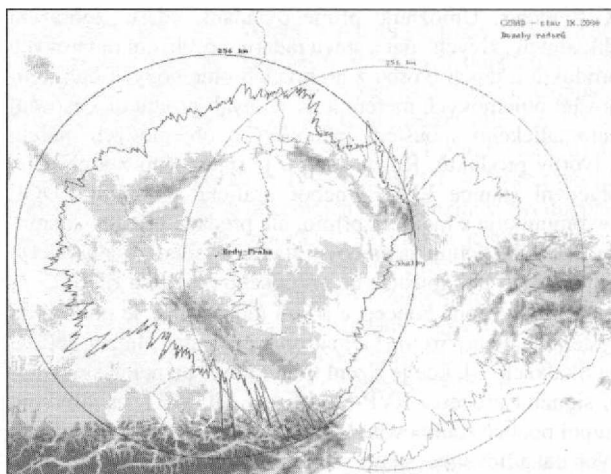
Fig. 3. Scan strategy for operational volume scan of radar Brdy; the number by elevation angle marks the number of subscan.

a vzdálenosti 256 km s maximální vertikální vzdáleností středů následujících paprsků 2 km. Radar Brdy využívá softwarové charakteristiky HYBRID SCAN, která umožňuje změnu parametrů snímání během posloupnosti otáček antény. Objemové snímání se skládá ze 3 dílčích subscanů, produkujících jediný soubor objemových dat. Celkové trvání objemového snímání na Brdech je nyní ca 7.5 minut při 14 elevačních úhlech (obr. 3).

Spodních 8 elevací (od nejnižší 0.1° do 6°) je snímáno na dosahu 256 km s opakovací frekvencí (PRF) 584 Hz a při pomalejší rychlosti antény 2 otáčky za minutu. Nejnižší 3 elevace obsahují značné množství pozemních odrazů, proto jsou u nich nastaveny též zesílené parametry eliminace pozemních cílů. Vrchních 6 elevací, tedy 3. část objemového snímání, se měří na kratším dosahu do 127 km při maximální opakovací frekvenci 1180 Hz a při rychlejší otáčení antény (ca 3.5 otáček za minutu). U vyšších elevací (až do 30°) je maximální jednoznačně vyhodnotitelná dopplerovská rychlost 15.6 m/s, tedy vhodná pro vyhodnocování vertikálního profilu větru [7, 9].

4. SOUČASNÝ STAV SÍTĚ CZRAD

Instalací radaru EEC na Brdech a ukončením provozu starší generace radarů typu MRL-5 se poněkud změnila podoba národní meteorologické radiolokační sítě CZRAD. Síť CZRAD nyní pokrývá celé území ČR a blízké okolí pro kvantitativní účely (dle kritéria COST-73, obr. 4) dvěma moderními dopplerovskými radary v pásmu C. I když radarové systémy pocházejí od různých výrobců a mají některé koncepční rozdíly, v základních parametrech a typech datových výstupů se výrazněji neliší. Pro oba radary je společný bezobslužný provoz, dálkové řízení, výhradně digitální datový výstup, užití dopplerovského filtru pozemních odrazů, objemové snímání dat odrazivosti, možnost měření dopplerovských rychlostí, srovnatelné technické parametry (šířka anténního svazku, vlnová délka, vysílaný výkon, citlivost přijímače). Dosažení plné kompatibility jejich dat je proto otázkou nastavení parametrů a údržby technického stavu radarů včetně jejich správné kalibrace.



Obr. 4 Stanoviště a pokrytí sítě CZRAD dle kritéria COST-73, stav září 2000.

Fig. 4. Radar locations and coverages according to COST-73 criteria for the CZRAD network, status September 2000.

Radarová síť CZRAD, provozovaná ČHMÚ ve spolupráci s AČR, v současnosti pokrývá celé území ČR pro účely kvalitativní dle kritéria NEXRAD (detekce nebezpečných povětrnostních jevů spojených s oblačností) i kvantitativní dle kritéria COST-73 (radarové odhady srážek). Obě radarové stanice (Skalky a Brdy) vyhovují velmi dobře požadavkům na umístění radarových stanic, neboť podle digitálního modelu reliéfu mají průměrnou elevaci radiohorizontu pod -0.2° a žádná terénní překážka nepřesahuje $+0.2^\circ$. Z hlediska územního pokrytí lze radarovou sítí CZRAD považovat za dobudovanou. V nejbližší dekádě se nepočítá s výstavbou nebo přemístěním radarových stanic.

Nyní je celé území ČR pokryto synchronizovaným objemovým snímáním dvou radarů v intervalu 10 minut pro potřeby civilního i vojenského sektoru. Sloučená informace sítě CZRAD pokrývá ČR a blízké okolí s horizontálním rozlišením 2×2 km, vertikálním 1 km až do výšky 14 km, s časovým krokem 10 minut. Data jsou společně využívána ČHMÚ, PÚ AČR i externími organizacemi (ŘLP, Česká televize, Státní meliorační správa atd.), dále v mezinárodní výměně

Tab. 3 Přehled radarových stanic sítě CZRAD.

Table 3. An overview of weather radar stations in the CZRAD network.

Radarová stanice	Skalky	Brdy-Praha
WMO indikativ	11718	1480
OPERA indikativ	CZ50	CZ60
Poloha	Drahanská vrchovina	Brdy
Zeměp. souřadnice	49.501 s. š., 16.790 v. d.	49.658 s. š., 13.818 v. d.
Výška antény (stanice)	767 (730) m n.m.	916 (862) m n.m.
V provozu	1995 –	2000 –
Výrobce	Gematronik (D)	EEC (USA)
Typ radaru	METEOR 360AC	DWSR-2501C
Pásmo, druh radaru	C, Doppler	C, Doppler
Signální procesor	RVP-6	EDRP-8
Software	RAINBOW 3.1	EDGE 4.62

v rámci sítě CERAD. Sít CZRAD i její produkty jsou nyní plně srovnatelné s evropskými standardy, definovanými postupně v rámci projektů COST-73, GORN a EUMETNET OPERA. Radarová data jsou v současnosti v meteorologické praxi užívána převážně kvalitativně, tj. pro určování polohy a vývoje srážkových systémů v mezosynoptickém měřítku. Roste též význam kvantitativního využití, především ve formě radiolokačních odhadů úhrnu srážek za krátká období pro hydrologické potřeby.

Po dokončení modernizace sítě CZRAD v r. 2000 patří nyní k hlavním úkolům zvyšování provozní spolehlivosti měření a kvality dat v trvalém automatickém provozu. Postupně jsou vyvíjeny také doplňkové produkty, užívající objemová data radiolokační odrazivosti a dopplerovských rychlostí. Na začátku r. 2001 bude uvedeno do provozu vyhodnocení vertikálního profilu větru [7] v intervalu 10 minut z radaru Brdy a 60 minut z radaru Skalky, které může v oblasti radaru doplňovat standardní aerologická měření. Další práce jsou směřovány do zlepšení horizontální rozlišovací schopnosti dat na 1 x 1 km a užití více datových produktů objemového snímání s hlavním zaměřením na vylepšení radarových odhadů srážek. Na rok 2001 je dále připravována operativní tvorba vlastní „mezinárodní“ sloučené informace, zahrnující CZRAD a nejbližší radary okolních států, která by snížila současnou prodlevu středoevropské sloučené informace CERAD, vytvářené v intervalu 30 minut ve Vídni a doručované v kódu BUFR po síti GTS.

4.1 Produkty radarové sítě

4.1.1 Datové formáty užívané v radarové síti CZRAD

V oboru meteorologické radiolokace nedošlo dosud k úplné standardizaci datových formátů, v praxi bývají užívány jednak formáty vytvořené výrobcí systémů, jednak různé univerzální formáty. Za evropský standard je považován WMO formát FM-94 BUFR užívaný pro výměny dat po GTS, i když se diskutuje i o dalších formátech (např. HDF5). Pro přímé zobrazení (např. na WWW) se užívá obrazový formát GIF. Z důvodu kontinuity je v síti CZRAD stále užíván též interní formát ČHMÚ, vyvinutý v r. 1992 (tedy před hromadným rozšířením výše uvedených „standardních“ formátů).

V současné době jsou v síti CZRAD používány tyto datové formáty:

- Interní formát ČHMÚ. Je užíván jako základní formát pro produkty MaxZ, CAPPI, Echo Top z jednotlivých radarů v pevně definovaném rozlišení a rozměru [3, 4].
Popis: Textová hlavička (datum a typ produktu), dále run-length kódovaná data. Radarová data lze komprimovat až na max. 10–15 %. Formát byl konstruován pro přímou dekompresi do paměti grafického adaptéru, dále není vyvíjen.
Užití: Užíván ke kódování dat na radarových stanicích, přenos do centra a archivaci dat; prohlížeče RADSHOW, ODRWIN.
- WMO BUFR FM-94. Standardní formát WMO pro mezinárodní výměnu radarových i jiných dat po síti GTS.
Popis: Spolu s obrazovými daty (jednotlivé radary a sloučená informace) obsahuje též jejich popis v rámci předdefinovaných deskriptorů. Kódovací a dekodovací program je vyvíjen na Technické univerzitě v Grazu a v rámci projektu EUMETNET OPERA je volně k dispozici.
Užití: především pro mezinárodní výměnu v rámci sítě CERAD, zčásti též pro distribuci uvnitř ČHMÚ.
- GIF. Široce podporovaný běžný obrazový formát pro rychlou prezentaci sloučené informace. Užití: pro prezen-

taci radarových dat na WWW apod. Není vhodný k extrakci dat (obvykle obsahuje též geografický overlay), jen jako náhled.

- RVD, RPD. V ČHMÚ nově vyvíjené otevřené formáty pro objemová a obrazová radarová data, především pro prostředí UNIX [7].

Popis: Hlavička v otevřeném ASCII textu obsahuje popis dat, pro obrazová data užívá kompresi GZIP. Formát je ve vývoji, dokumentován, nepotřebuje speciální dekoder. Užití: Zatím experimentální uvnitř ČHMÚ.

4.1.2 Sloučená informace CZRAD

Jako hlavní současný produkt jsou z radarových stanic do centra přenášena data maximálních odrazivosti ve vertikálním a ve dvou horizontálních průmětech (kvazi-trojrozměrné zobrazení), kódovaná v interním formátu ČHMÚ. Tato data jsou užívána při tvorbě sloučené informace.

Ani po zprovoznění radaru Brdy se nezměnila oblast slučování a základní charakteristiky dat. Geografickou projekcí sloučené informace zůstává i nadále lokální projekce libušského radaru, tedy azimutální gnómonické zobrazení s dotykovým bodem $\phi = 50.008^\circ \text{ N}$, $\lambda = 14.447^\circ \text{ E}$. Prostorové rozlišení dat je 2 x 2 km, velikost oblasti sloučené informace 712 x 512 km, tj. 256 řádků a 356 sloupců. Při prezentaci sloučené informace včetně bočních průmětů je velikost oblasti 400 x 300 pixelů. Tato rozšířená oblast zahrnuje navíc vpravo a nahoře po 44 pixelech pro boční průměty s vertikálním rozlišením 1 km až do výšky 14 km. V zobrazení jsou tyto boční průměty šestinásobně převýšeny. Hodnoty odrazivosti jsou zobrazovány v 15 stupních intenzit s krokem po 4 dBZ a s rozpětím od 4 do 60 dBZ, které pokrývá celý rozsah běžně pozorovaných odrazivosti srážkových meteorologických člů.

Sloučená informace je vytvářena jako největší hodnota (maximum) ze všech dostupných měření v daném pixelu, což nejlépe odpovídá výstražné funkci radaru. Tato metoda má výhodu „adaptivnosti“, nezávislosti na povětrnostní situaci a aktuálním stavu radarů, navíc je výpočetně velmi jednoduchá. Touto metodou lze generovat sloučenou informaci v závislosti na dostupných datech přímo u uživatele, který navíc může podle své úvahy některé radary ze slučování vyloučit (např. při zhoršení jejich parametrů). Při slučování je brán zřetel na aktuální pokrytí radarů; oblasti mimo toto pokrytí jsou značeny ve sloučené informaci zvláštní hodnotou jako NO DATA (tato vlastnost není k dispozici v interním formátu ČHMÚ).

Standardně je sloučená informace vytvářena centrálně, na serveru ČHMÚ – ODMI v Praze-Libuši v pevně stanovených termínech v intervalu 10 minut. Časový údaj sloučené informace je vztažen ke konci objemového snímání radaru a zaokrouhlen na celou desetiminutu. Sloučená informace je zpracovávána vždy ve čtvrté minutě po ukončení příslušného desetiminutového intervalu. V případě nedostupnosti aktuálních dat jsou nahrazena daty z předchozího desetiminutového intervalu. Hlavička sloučené informace obsahuje nominální čas sloučené informace a seznam dostupných a nahrazených radarů.

4.2 Provoz radarové sítě

Národní meteorologická radiolokační síť CZRAD slouží kombinovaným kvalitativním (výstražná služba) i kvantitativním (radiolokační odhady srážek) účelům pro potřeby civilního a vojenského sektoru. Na přelomu let 1999 a 2000 byly uzavřeny dohody o spolupráci mezi PÚ AČR a ČHMÚ při provozu národní radarové sítě CZRAD. V rámci těchto mezi-

rezortních smluv ČHMÚ technicky i metodicky zabezpečuje nepřetržitý provoz sítě CZRAD. Radarová data jsou společně využívána PÚ AČR a ČHMÚ, včetně dalších externích organizací. ČHMÚ zajišťuje též činnost Metodického střediska sítě CZRAD (včetně mezinárodní výměny dat) a v jeho rámci spolupracuje s PÚ AČR na optimalizaci využití sítě CZRAD. Pro vyhodnocení funkce sítě a návrhy na její zlepšení jsou pořádány min. dvakrát ročně pravidelné porady odborných zástupců PÚ AČR a ČHMÚ.

Centrem sítě CZRAD je pracoviště ČHMÚ – ODMI Praha-Libuš, kde probíhá v nepřetržitém provozu tvorba a distribuce sloučených radarových produktů. Provoz radarů v síti i zpracování dat jsou dohlíženy jedním operátorem v nepřetržitém provozu. Běžně dosahovaná dostupnost dat z jednotlivých radarů je ca 95–98 %. V současné době je značná pozornost věnována zlepšování kvality a dostupnosti dat. Servis radarů nebo závady trvající déle než 60 minut jsou hlášeny hlavním uživatelům dat (prognózní pracoviště ČHMÚ a PÚ AČR), v případě plánovaných výluk s předstihem.

5. ZÁVĚR

Na konci roku 1999 byla uvedena do provozu nová meteorologická radiolokační stanice, umístěná ve vojenském újezdu Brdy, ve sřeženém objektu VÚ 3255 na kopci Praha. Po odborné a technické stránce je automatický provoz radaru EEC DWSR 2501-C zajišťován ČHMÚ Praha-Libuš, samotný objekt je spravován AČR. Realizací této společné investiční akce dvou rezortů došlo k úspoře prostředků řádu desítek milionů Kč a zároveň k zefektivnění provozu meteorologických radarů ve spolupráci ČHMÚ a PÚ AČR.

Po zprovoznění radaru Brdy pokrývá meteoradarová síť CZRAD celé území ČR a blízkého okolí měřením dvou radarů nové generace pro kvalitativní i kvantitativní potřeby civilní a armádní hydrometeorologické služby. Provoz radarů zajišťuje ČHMÚ v souladu s evropskými standardy, vyvíjenými postupně v rámci projektů COST-73, GORN a EUMET-NET OPERA.

Sloučená informace sítě CZRAD pokrývá celé území s horizontálním rozlišením 2 x 2 km a vertikálním 1 km do výšky 14 km s časovým krokem 10 minut. Standardním produktem objemového snímání je pole maximálních odrazivostí v 3D průmětech, které je též základem pro výpočty odhadů srážek za krátká období 1 až 24 hodin. Tyto produkty, užívané též v mezinárodní výměně v síti CERAD, jsou plně srovnatelné s evropskými standardy. Postupně jsou vyvíjeny doplňkové produkty, užívané objemová data radiolokační odrazivosti a dopplerovských rychlostí.

Literatura

[1] Čáka, J.: Střední Brdy – krajina neznámá. Praha, Středočeské nakladatelství 1999. 250 s.

- [2] Firemní materiály: Meteorologický radar DWSR-2501C (v angličtině). Enterprise Electronic Corporation, Enterprise, Alabama 1999–2000.
- [3] Havránek P. – Kráčmar J.: Nová meteorologická radiolokační stanice na střední Moravě. Meteorol. Zpr., **49**, 1996, s. 81–84.
- [4] Kráčmar, J.: Automatizace radaru MRL-5 v provozu Českého hydrometeorologického ústavu. Meteorol. Zpr., **48**, 1995, s. 37–44.
- [5] Kráčmar, J.: Radiohorizonty a výskyt pozemních cílů pro radiolokační síť ČR. Meteorol. Zpr., **47**, 1994, s. 163–171.
- [6] Kráčmar, J. – Joss, J., Novák, P. – Havránek, P. – Šálek, M.: First Steps Towards Quantitative Usage of Data from Weather Radar Network. In: Final Seminar of COST-75 „Advanced Weather Radar Systems“ – Locarno, 23-27 March 1998. European Commission, Luxembourg, 1999, s. 91–101.
- [7] Novák, P.: Meteorological Interpretation of Doppler Weather Radar Measurements. [Doktorská dizertační práce.] Praha 2000. – Univerzita Karlova. Fakulta matematicko-fyzikální.
- [8] Novák, P. – Kráčmar, J.: Using Data from the Czech Weather Radar Network for Detection of Convective Storms. 1st European Tornadoes and Severe Storms Conference, Toulouse, 1-4 February 2000. (publikováno na <http://www.chmi.cz/meteo/rad/pub/ssc2000/>)
- [9] Novák, P. – Kráčmar, J.: Exploiting 3D volume data from the Czech weather radar network. 1st European Conference on Radar Meteorology, Bologna, 4-8 September 2000. Phys. Chem. Earth (B), Vol. 25, No.10-12, pp. 1163-1168, 2000.
- [10] Strachota, J.: Lokalizace a identifikace nebezpečných letních konvektivních jevů meteorologickým radiolokátorem MRL-2. Meteorol. Zpr., **36**, 1983, s.147–157.
- [11] Strachota, J.: Využití meteorologického radiolokátoru TESLA RM-2 při zajišťování požadavků uživatelů meteorologických radiolokačních informací. Meteorol. Zpr., **34**, 1981, s. 4–8.
- [12] Šálek, M. – Kráčmar, J.: Výpočet srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. Meteorol. Zpr., **50**, 1997, s. 99–109.

Internetové odkazy

- <http://www.chmi.cz/meteo/rad/> – Oddělení radarových měření ČHMÚ
- <http://www.chmi.cz/OPERA/> – OPERA (Operational Programme for the Exchange of European Weather Radar Information)
- <http://www.eecradar.com/> – Enterprise Electronic Corporation, Inc.
- <http://www.gematronik.com/> – GEMATRONIK GmbH
- <http://www.sigmet.com/> – SIGMET Inc.

Lektor RNDr. J. Strachota, rukopis odevzdán v listopadu 2000.