

# METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

## Meteorological Bulletin

ROČNÍK 61 (2008)

V PRAZE DNE 31. ŘÍJNA 2008

ČÍSLO 5

## ČESKÁ METEOROLOGICKÁ RADAROVÁ SÍŤ CZRAD V ROCE 2008

Petr Novák, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: petr.novak@chmi.cz  
Petr Havránek, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: havranekp@chmi.cz  
Jan Kráčmar, Řízení letového provozu/Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: jkracmar@chmi.cz

**Czech weather radar network CZRAD in 2008.** Current status of Czech weather radar network CZRAD after two decades of digital weather radar measurements is given, including technical parameters and scanning strategies of radars. Both radar sensors, located at Skalky and Brdy-Praha hills, undergone a mid-life upgrade during 2006–07. Optimized interlaced volume scan is used for generating of radar products in 5 min. interval. Data processing, web-based presentation and international exchange of weather radar products are described. Long-term availability of radar data is better than 97%. Recent potential problems and limitations of weather radar measurements in C band, especially interferences from communication equipments (RLAN/WiFi) and other devices, wind turbines and obstacles in radar horizon, are discussed.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** radiolokátor meteorologický – síť radarová – zpracování dat – Česká republika

**KEY WORDS:** weather radar – radar network – data processing – Czech Republic

### 1. ÚVOD

Operativní meteorologická radarová měření prodělala v posledních dvou desetiletích bouřlivý rozvoj – od manuálních hodinových měření, překreslovaných z obrazovky a šířených faksimilovým vysíláním v 70. a 80. letech [1, 2, 3], přes první zkušenosti s digitalizací sovětských radarů MRL-5 v první polovině 90. let [4], k současné národní síti CZRAD. Dvojice moderních dopplerovských radarů poskytujících plně digitální data byla instalována ve 2. polovině 90. let na bezobslužných stanovištích s optimálním pokrytím celého území ČR [5] – viz obr. 1. V roce 1995 byl na kótě Skalky na střední Moravě na Dražanské vrchovině instalován radar Gematronik Meteor-360AC [6] a v roce 1999 pak ve středních Čechách na kótě Praha v Brdech radar EEC DWSR-2501C [7]. Instalaci radaru v Brdech byla sjednocena vojenská a civilní meteorologická radiolokační síť – provoz radarů a metodiku měření zajišťuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Armáda ČR zabezpečila výstavbu a funkci infrastruktury na stanovišti Brdy, dále poskytuje rychlé přenosové trasy mezi radary a centrem sítě CZRAD v Praze-Libuši.

V současnosti jsou radarová data využívána na centrálním a regionálních předpovědních pracovištích Českého hydrometeorologického ústavu jako jeden z klíčových podkladů pro předpovědní a výstražné účely (meteorologické i hydrologické) [8, 9, 10]. Radarová data jsou dodávána široké paletě externích uživatelů (Řízení letového provozu, Armáda ČR, Zemědělská vodohospodářská správa, Česká televi-

ze, Ředitelství silnic a dálnic, atd.) a do mezinárodní výměny radarových dat mezi evropskými meteorologickými službami, včetně použití v rámci sil NATO. Radarová měření jsou též důležitá pro řešení řady výzkumných projektů [11, 12]. V neposlední řadě jsou data využívána i širokou veřejností prostřednictvím webových stránek radarového oddělení ČHMÚ [13].

V letech 2006–2007 prošly oba radary dílčím upgradem hardwaru i softwaru, který by měl prodloužit předpokládanou životnost sítě v současné konfiguraci do první poloviny příštího desetiletí. Cílem článku je poskytnout přehled o novém vývoji sítě CZRAD od roku 2000, zahrnujícím technické zabezpečení provozu heterogenní sítě s dálkovým řízením radarů na bezobslužných pracovištích, nastavení optimálních parametrů objemového snímání pro rychlou obnovu dat, tvorbu softwarového vybavení pro zpracování a zobrazování meteoradarových dat.

### 2. MODERNIZACE RADARŮ SÍTĚ CZRAD V LETECH 2006–2007

Přibližně v polovině očekávané životnosti proběhla na radarech Skalky i Brdy modernizace. U obou radarů tak bylo dosaženo technických standardů přelomu století: vysílač s polovodičově spínaným modulátorem, digitalizace přijímaného signálu na úrovni mezifrekvence, dále plně digitální dopplerovské zpracování dat, inovovaný software pro dávkové řízení parametrů snímání dat a otáčení antény. Tato modernizace sjednotila a zkvalitnila výstupní data, včetně fle-

xibilnější definice měření, unifikované mezi oběma radary; vytváří tím předpoklady pro vyšší aktuálnost dat pro koncové uživatele. Modernizace taktéž zajistila výměnu problémových částí radaru, což se projevilo snížením počtu chybových stavů spojených s výpadkem operativního měření a tedy vyšší dostupností radarových dat.

Modernizace radaru Skalky proběhla v listopadu 2006 a byla provedena původním dodavatelem radaru, německou firmou Gematronik. Náhradou thyatronu ve spínači modulatoru vysílače spínačem polovodičovým byla zvýšena jeho spolehlivost a sníženy nároky a náklady na servis. Kompletně byla vyměněna přijímací část radaru (analogové obvody přijímače konceptu MIMIC, digitální přijímač GDRX-RX a zpracování signálu GDRX-SP), řídicí hardware (RCP) a software (Rainbow5, Ravis), přičemž jednotlivé komponenty digitálního přijímače a řízení radaru spolu komunikují po TCP/IP síti. Nezměněna zůstala vlnovodná trasa, anténa, anténní mechanika a její hardwarové řízení.

Modernizace radaru Brdy proběhla v listopadu až prosin-

ci 2007 a byla provedena americkou firmou Sigmat Inc., patřící v současnosti pod finský koncern Vaisala. V rámci modernizace byl vyměněn kompletní radarový přijímač (analogové obvody přijímače a digitální přijímač RVP8), řídicí hardware (RCP8) a software (IRIS). Zároveň byly od původního výrobce radaru EEC nakoupeny některé klíčové náhradní díly, které by měly minimalizovat budoucí výpadky radaru. Při modernizaci byl beze změn zachován vysílač, vlnovodná trasa, anténa, anténní mechanika a její hardwarové řízení.

Po modernizacích radarů v letech 2006 a 2007 došlo k některým změnám v parametrech radarů, dále došlo k upřesnění poloh radarů s využitím informací z přístrojů GPS a online ortofotomap [14, 15]. Základní aktuální parametry radarů sítě CZRAD jsou shrnuty v tab. 1. Obr. 1 zobrazuje umístění a dosahy operativních radarových měření.

### 3. OPERATIVNÍ PROVOZ SÍTĚ CZRAD

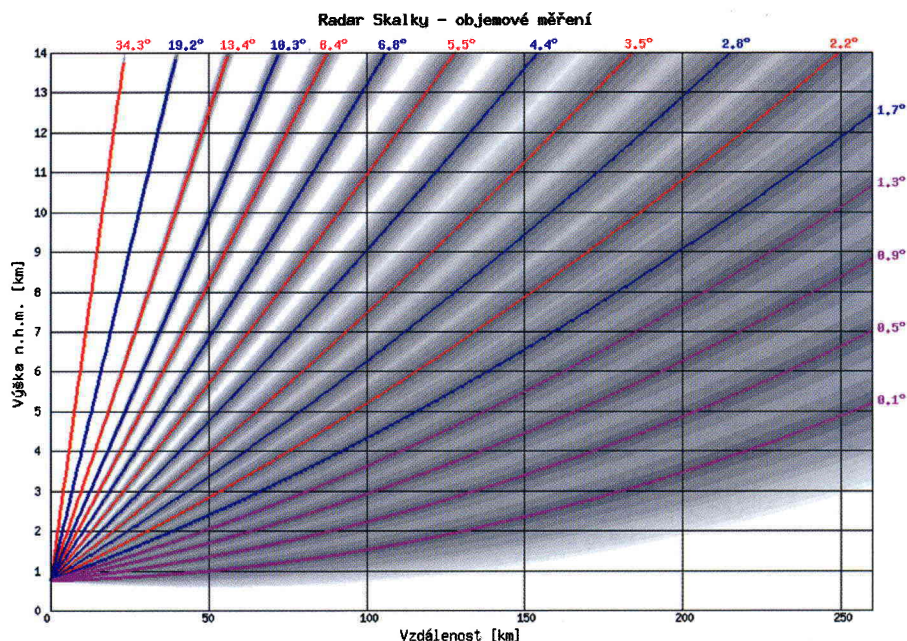
Operativní provoz meteorologických radiolokátorů je nejčastěji založen na objemovém snímání, tj. na opakova-

Tab. 1 Parametry meteorologických radarů ČHMÚ.

Table 1. Parameters of CHMI weather radars.

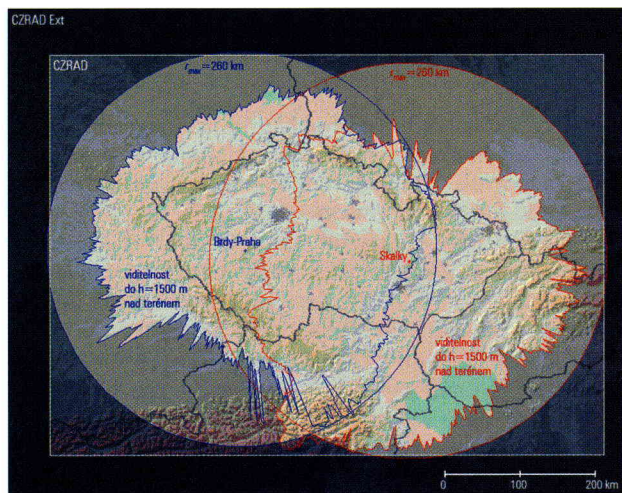
	Skalky u Protivanova	Brdy – Praha
Oblast	střední Morava	střední Čechy
WMO indikativ	11718	11480
Zeměpisná šířka	49° 30' 3,9" N (49,5011 N)	49° 39' 29,9" N (49,6583 N)
Zeměpisná délka	16° 47' 18,6" E (16,7885 E)	13° 49' 04,1" E (13,8178 E)
Nadmořská výška	730 m	860 m
Výška antény nad mořem	767 m	916 m
V provozu	Od 1995 (modernizace 2006)	od 1999 (modernizace 2007)
Typ radaru	Gematronik METEOR-360AC	EEC DWSR-2501C
Dopplerovský mód	Ano	Ano
ANTÉNA		
Druh	parabolická	parabolická
Průměr	4,2 m	4,27 m
Šířka svazku	0,8°	0,96°
Zisk	44 dB	45 dB
Polarizace	lineární horizontální	lineární horizontální
VYSÍLAČ		
Druh	magnetronový	magnetronový
Frekvence (nastavitelná)	5600 až 5800 MHz	5500 až 5700 MHz
Frekvence (provozní – určená ČTÚ)	5652 MHz	5660 MHz
Vlnová délka (provozní)	5,31 cm	5,3 cm
Impulzní výkon (minimálně)	250 kW	250 kW
Délka pulzu	0,8; 2,0 μs	0,4; 0,8; 2,0 μs
Opakovací frekvence	250–1200 Hz	100–2126 Hz
PŘIJÍMAČ		
Typ	Gematronik MIMIC, digitální, lineární mezifrekvenční zesilovač	Sigmat RVP8, digitální, lineární mezifrekvenční zesilovač
Minimální detekovatelný signál	-109 dBm	-110 dBm
Dynamický rozsah	100 dB	80 dB
Mezifrekvence	460/60 MHz	60 MHz
Minimální detekovatelná odrazivost ve vzdálenosti 260 km	9,7 dBZ	10,6 dBZ
OPERATIVNÍ PROVOZ		
Interval měření	10 min. (5 min částečný)	10 min. (5 min částečný)
Maximální dosah	260 km	260 km
Délka pulzu	0,8 mikrosekundy	0,8 mikrosekundy
Opakovací frekvence	576 Hz, 1180 Hz, 768/1180 Hz	576 Hz, 1180 Hz, 768/1180 Hz

ném měření radarové odrazivosti při otáčení antény postupně na několika elevačních úhlech, zvolených pro optimální třírozměrné pokrytí sledované oblasti. Při definici operativního měření (výběru posloupnosti elevačních úhlů, rychlosti otáčení antény, opakovací frekvence radaru aj.) je třeba se vypořádat s dvěma hlavními uživatelskými požadavky, které jsou do jisté míry protichůdné. Na jedné straně je třeba zajistit co nejpodrobnější proměření sledované oblasti, aby bylo možné generovat co nejpřesnější produkty včetně charakteristik vertikálního profilu radarové odrazivosti. Při pomalejším otáčení antény se díky lepšímu průměrování dat dosahuje přesnějšího odhadu radiolokační odrazivosti i dopplerovských veličin (radiální rychlosti a šířky spektra). Zvětšováním počtu elevačních úhlů, použitých při objemovém snímání, se zlepšuje odhad vertikálního profilu odrazivosti a zachycení detailů prostorových polí radiolokačních charakteristik. Na druhou stranu je



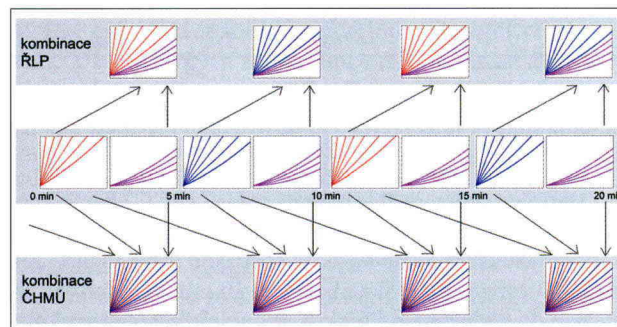
Obr. 2 Graf závislosti výšky jednotlivých měřených hladin na vzdálenosti od radaru Skalky pro operativně měřené elevační úhly. Čtyři nejnižší elevace, měřené na závěr každého pětiminutového cyklu, jsou znázorněny fialovou barvou. Červenou barvou jsou vyznačeny elevace měřené na začátku prvních pěti minut, modré elevace měřené na začátku druhých pěti minut. Šedou barvou je znázorněna šířka radarového paprsku.

Fig. 2. Range dependency of height of operationally measured elevations on Skalky radar. The 4 lowest elevations measured at the end of each 5-minute subscan are depicted by purple color. Elevations measured at the beginning of the first, resp. the second, 5-minute subscan are depicted by red, resp. blue, color. Gray color represents width of radar beam.



Obr. 1 Umístění a dosahy radarů české meteorologické radarové sítě CZRAD. Mapa ukazuje maximální dosahy meteorologických radarů ČHMÚ (kruhy) a dosahy vhodné pro určování intenzit srážek (do výšky osy paprsku 1500 m nad terénem) dle doporučení projektu COST 73 [5]. Bílý obdélník představuje oblast standardní české sloučené radarové informace, celý obrázek pak oblast rozšířené sloučené informace kam jsou doplňována měření i z blízkých cizích radarů.

Fig. 1. Positions and coverage of CHMI weather radars (CZRAD radar network). Map shows the maximum coverage of radars (circles) and coverage for precipitation estimation according to the recommendations of the project COST 73 [5] (the lowest usable beam 1500 m above ground level). White rectangle represents domain of standard Czech composite radar images, whole figure represents domain of extended Czech composite images which include also measurements of close foreign radars.



Obr. 3 Ukázka skládání výsledných objemových dat z prokládaného měření radarů v síti CZRAD. Prostřední řádek představuje časovou posloupnost měření jednotlivých elevačních úhlů (viz obr. 2), horní řádek zobrazuje způsob skládání naměřených elevací do objemových dat využívaných Řízením letového provozu ČR, spodní řádek poté kombinaci využívanou v ČHMÚ a všemi ostatními uživateli.

Fig. 3. Depiction of combination of interlaced measurement of CZRAD radars into final volume files. Middle row represents time sequence of operational measurements (as described in Fig. 2), upper row shows data combination used by Air Navigation Services of the Czech Republic and lower row show combination used by CHMI and all other users.

zde potřeba co nejvyšší aktuálnosti radarových měření, tedy co nejkratší interval obnovy a co nejrychlejší poskytnutí dat koncovým uživatelům. Výsledná definice měření objemových dat je tak kompromisem mezi těmito dvěma požadavky. Pro potřeby zabezpečení letového provozu nad územím ČR byla v roce 2003 vytvořena první optimalizace objemového snímání – tzv. prokládané snímání, rozdělující základní

Tab. 2 Parametry operativního objemového měření meteorologických radarů v síti CZRAD.

Table 2. Parameters of operational volume measurement of CZRAD weather radars.

Index	Elevační úhel [°]	Délka pulzu [μs]	Opakovací frekvence [Hz]	Dosah [km]	Rozlišení délkové [km]	Rozlišení azimutální [°]	Rychlost otáčení antény [°/s]	Počet otáček za minutu	Počet průměrovaných vzorků	Maximální určitelná dopplerovská rychlost [m/s]
1	34,3	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
2	13,4	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
3	8,4	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
4	5,5	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
5	3,5	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
6	2,2	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
7	1,3	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
8	0,9	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
9	0,5	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
10	0,1	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
11	0,6	0,8	1180 / 786	120	0,5	1	15	2,5	32	31,3
12	19,2	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
13	10,3	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
14	6,8	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
15	4,4	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
16	2,8	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
17	1,7	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
18	1,3	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
19	0,9	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
20	0,5	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
21	0,1	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6

desetiminutový interval měření na dva dílčí produkty s obnovou po 5 minutách.

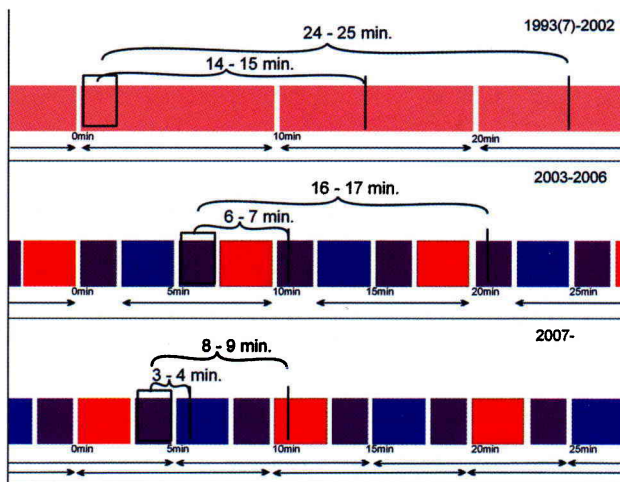
Definice objemového měření radarů sítě CZRAD byla optimalizována dle možností hardware radaru a řídicího i zpracovatelského softwaru. V současné době radary sítě CZRAD zpracovávají data každých 10 minut z 16 různých elevací do vzdálenosti 260 km. Pro výsledné radarové produkty jsou nejdůležitější měření na nejnižších elevačních úhlech. Pro zvýšení aktuálnosti výsledných produktů proto probíhá objemové měření „shora dolů“ (od nejvyšší k nejnižší elevaci); 4 nejnižší elevační úhly (do 1,3°) jsou navíc opakovány v obou dílčích 5minutových sériích (obr. 2). Tato definice umožňuje generovat každých 10 minut produkty z plného souboru čerstvých dat a každých 5 minut produkty z dat, která sice nejsou zcela aktualizována, ale obsahují nové informace z nejdůležitějších proměřovaných oblastí (viz obr. 3). Mezi první a druhou pětiminutovou částí standardně využívaných měření je na jedné elevaci prováděno experimentální měření optimalizované pro vyhodnocení nízkohladinového pole dopplerovských radiálních rychlostí (elevace s indexem 11 v tab. 2). Definice tohoto měření se bude zřejmě v nejbližší době ještě upravovat. Celé objemové měření trvá ca 9 minut, poslední minuta je ponechána pro servisní účely (měření úrovně šumu,...). Parametry definice aktuálního objemového měření jsou shrnuty v tab. 2. Tabulka neobsahuje definici vymazávaní pozemních cílů. U obou radarů je prováděno pomocí

dopplerovského filtru (odstranění dat odrazivosti s radiální rychlostí blízkou nule), detailní definice se u jednotlivých radarů liší z důvodu odlišné implementace signálového zpracování a též rozdílného zatížení radarových stanic pozemními odrazy. Obecně však platí, že nejsilnější filtr je použit u nejnižších elevací. U vyšších elevací je použit filtr slabší, s užším pásmem potlačení nízkých dopplerovských rychlostí, odpovídajících pozemním odrazům.

Aktuálnost radarových produktů pro koncové uživatele byla dále zlepšena zrychlením a zvýšením kapacity přenosových tras mezi radary a centrem v Praze-Libuši a optimalizací zpracovatelského software. Díky těmto vylepšením jsou v současnosti radarové produkty dostupné v první minutě po nominálním konci měření. Data z nejdůležitějších proměřovaných oblastí jsou tak ve chvíli doručení koncovému uživateli stará ca 3–4 minuty. S těmito daty poté uživatel pracuje v následujících 5 minutách, než proběhne následující měření; na konci tohoto období jsou rozhodující data stará ca 8–9 minut. Pro srovnání, do roku 2002 uživatelé pracovali s daty starými ca 14 až 25 minut.

#### 4. ZPRACOVÁNÍ A PREZENTACE RADAROVÝCH DAT

Pro monitoring a řízení radarů a pro snímání surových naměřených dat je využíván software dodaný výrobcem radarů, pro další zpracování uživatelských produktů ze surových radarových dat však není tento dodavatelský software dosta-



Obr. 4 Vývoj definice objemového měření CZRAD a aktuálnost radarových produktů pro koncové uživatele. Horní část představuje definici měření do roku 2002, kdy byla každých deset minut měřena posloupnost dvaceti elevací, postupně od nejnižších po nejvyšší. Prostřední část zobrazuje definici prokládaného snímání v letech 2003–2006, kdy došlo k rozdělení plného objemového měření na dvě části, stále se ale měřilo od nízkých k vysokým elevacím. Spodní část zobrazuje definici měření zavedenou v roce 2007, kdy došlo k obrácení pořadí měření od vysokých k nízkým elevacím. Barevné boxy ve střední a dolní části odpovídají barevnému označení elevací na obr. 2. Časové údaje označují aktuálnost dat z nejdůležitějších proměřovaných oblastí v okamžiku dostupnosti pro koncové uživatele, a dále ve chvíli, kdy je k dispozici další nové měření.

Fig. 4. Time development of definition of CZRAD volume measurement and latency of radar data for users. Upper part shows measurement definition up to 2002, when every 10 minutes sequence of 20 elevations was measured from the lowest to the highest one. Middle part shows measurement definition from 2003–2006, when main scan was divided into 2 subscans, where elevations were still measured from the lowest to the highest one. Lower part shows measurement definition introduced in 2007, when elevations are measured from the highest to the lowest one. Color boxes in middle and lower parts corresponds to the colors of elevations in Fig. 2. Time information indicates latency of the most important part of radar data for users.

tečně flexibilní. Naměřená objemová data jsou proto ještě na radarových stanicích konvertována do interního formátu (definovaného v ČHMÚ a společného pro oba radary) a odeslána do centra v Praze-Libuši k dalšímu zpracování. Ke zpracování surových radarových dat se využívá softwarový balík RVD/RPD vyvinutý v radarovém oddělení ČHMÚ. Tento softwarový balík umožňuje kombinaci dat naměřených na jednotlivých elevacích tak, aby byl v intervalu 5 min. k dispozici plný soubor dat. Zároveň zajišťuje dostatečnou flexibilitu při generování produktů podle specifických požadavků uživatelů (algoritmy výpočtu, korekce chyb radarových měření, datové a prostorové rozlišení, geografická projekce a oblast) a jednotné zpracování dat z obou radarů. Objemová data jsou nejprve převedena ze sférických do kartézských souřadnic ve zvolené geografické projekci a následně jsou generovány dvojrozměrné uživatelské produkty (PPI, CAPPI, MAX-3D, Echo top, VIL, VPR). Dvojrozměrné produkty z jednotlivých radarů jsou dále kombinovány do výsledné sloučené radarové informace, z níž jsou dále počítány radarové odhady srážek za určité časové období (1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, ...) [16, 17] a extrapolací předpovědi budoucího rozložení radarového echa [18, 19, 20].

Starší způsob vizualizace radarových dat, užívající v 90. letech speciální software, který musel být nainstalován na uživa-

vatelský počítač a kterému bylo třeba zasílat aktuální data, byl postupně nahrazen webovým přístupem. V současnosti jsou radarové produkty nahrávány na webový server, k vizualizaci pak slouží aplikace JSMeteoView (tzv. tenký klient), využívající technologie dynamického HTML, Javascriptu a PHP. Tuto aplikaci si koncový uživatel nahraje ze serveru spolu s radarovými daty pomocí běžného webového prohlížeče (např. Mozilla Firefox, Opera, Microsoft Internet Explorer), nezávisle na používaném operačním systému (Microsoft Windows, LINUX/UNIX, MAC OS). Tento způsob vizualizace dat urychluje přístup k radarovým datům a díky zabudovaným základním GIS funkcím (výpočet a zobrazování polohy, překreslování vrstev s geografickými informacemi, přibližování části obrazu) umožňuje i přesnou geografickou lokalizaci detekovaných jevů.

V plné konfiguraci umožňuje aplikace JSMeteoView též kombinaci zobrazení radarové odrazivosti s dalšími meteorologickými daty (snímky z družice MSG, bodová data detekce blesků, předpovědní pole z NWP LAM ALADIN, přízemní pozorování SYNOP), přinášející meteorologům komplexnější obraz o dějích odehrávajících se v atmosféře (obr. 5).

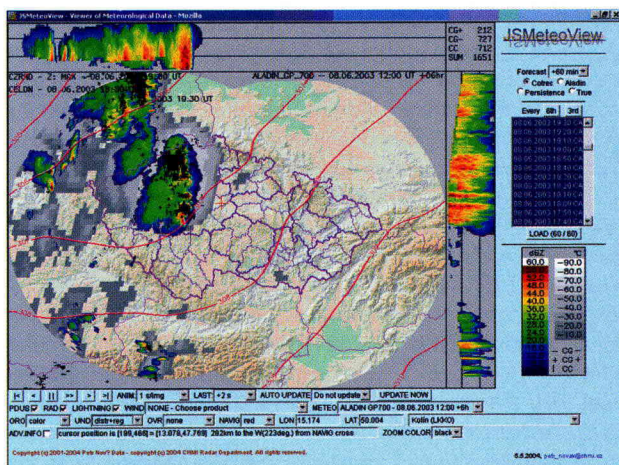
Aplikace JSMeteoView slouží jako primární nástroj pro vizualizaci radarových dat v ČHMÚ i pro některé externí uživatele. Zjednodušená verze této aplikace je k dispozici i na veřejných internetových stránkách ČHMÚ pro širokou veřejnost.

## 5. MEZINÁRODNÍ VÝMĚNA RADAROVÝCH DAT

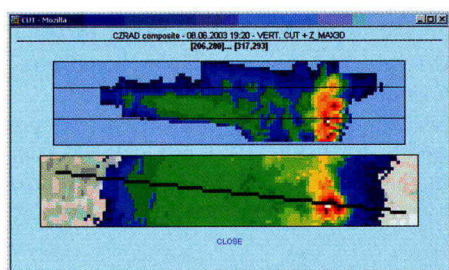
Přestože síť CZRAD pokrývá měřením celé území ČR i jejího blízkého okolí, jsou radarové informace z okolních zemí neocenitelným doplňkem národní radarové informace, kdy rozšiřují zobrazovanou oblast, což je užitečné zejména pro předpovědní pracoviště ke zkvalitnění analýzy meteorologické situace, tvorby výstrah a velmi krátkodobých předpovědí. Data z blízkých zahraničních radarů mohou též poskytovat záložní informace v případě výpadku českých radarů, navíc zejména v zimním období mohou zpřesňovat česká radarová měření v pohraničních oblastech, kde v důsledku zakřivení zemského povrchu již nejsou viditelné spodní partie atmosféry a vertikálně málo mohutná srážková oblačnost tak může být významně podceňována nebo dokonce zcela nezaznamenána. Vzhledem k typickému reliéfu ČR s pohraničními horami je však často pokrytí zahraničními meteoradary poněkud omezené (týká se např. polských meteoradarů). Dalším omezením dat ze zahraničních radarů v operačním provozu je jejich ca 5–15 minutové zpoždění, které vzniká během zpracování a přenosu mezi meteorologickými službami.

Přednosti mezinárodní výměny meteoradarových dat jsou v Evropě široce využívány, od pokusné západoevropské sloučené informace COST-73 z 80. let, přes široký rozvoj bilaterálních výměn radarových dat, který nastal v 90. letech po vyřešení problému jednotného formátu vyměňovaných dat (kód WMO FM-94 BUFR) a distribucí dat (síť WMO – GTS). Od roku 1999 je koordinace mezinárodní výměny radarových dat zastřešena programem OPERA [21] organizace EUMETNET (sdružení evropských meteorologických služeb, zajišťující spolupráci v základních meteorologických aktivitách). Těchto aktivit se ČHMÚ účastní od první poloviny 90. let, přestože není přímo členem EUMETNET.

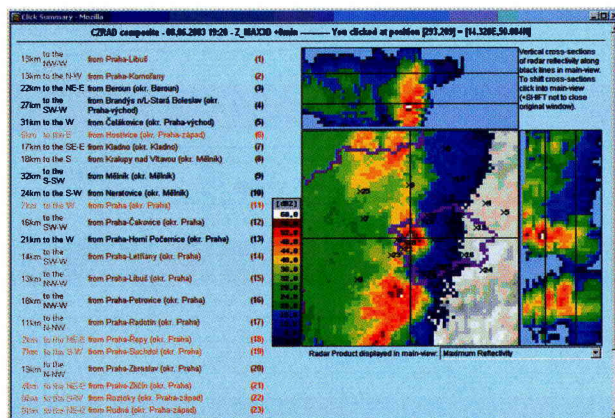
Od 90. let je v ČHMÚ přijímána středoevropská sloučená radiolokační informace CERAD, vytvářená ve Vídni ve spolupráci ZAMG a Technické univerzity Graz. Četnost obno-



(a)



(c)



(b)

Obr. 5 Ukázka vizualizace sloučené radarové informace v aplikaci JSMeteoView: (a) kombinace maximální radarové odrazivosti (barevná škála), teplotního kanálu z družice Meteosat (odstíny šedi), dat detekce blesků (černé symboly) a předpovědi pole geopotenciálních výšek hladiny 700 hPa numerického modelu ALADIN, (b) zvětšený výřez bouře s přesnou geografickou lokalizací, (c) volně definovaný řez konvektivní bouří.

Fig. 5. Example of visualization of composite radar information in JSMeteoView application: (a) combination of maximum radar reflectivity (color scale), thermal IR channel from Meteosat satellite (gray scale), lightning locations (black symbols) and forecasted field of geopotential of 700 hPa by NWP model ALADIN, (b) zoom of convective storm with precise geographical localization, (c) freely defined cross-section of convective storm.

Tab. 3 Roční dostupnost dat meteorologických radarů v síti CZRAD.

Table 3. Annual data availability of CZRAD weather radars.

Rok	Radar Skalky – roční dostupnost [%], poznámky	Radar Brdy – roční dostupnost [%], poznámky
2000	94,7 nestabilita vysílače	92,1 dokončování instalace
2001	97,2	96,9
2002	99,2	92,4 anténní mechanika
2003	97,8	95,2
2004	95,4 ložisko mechaniky antény	99,5
2006	90,9 modernizace	95,0 filtr ve vysílači
2007	98,8	92,9 modernizace

vy dat CERAD byla zvýšena ze 30 na 15 minut, avšak již není dále vyvíjena; chybějící novější radarová data (z Polska a Slovenska) jsou do sloučené informace CERAD doplňována až v ČHMÚ. Pro potřeby ČHMÚ jsou od konce 90. let přijímána data z okolních radarů v kódu BUFR, z nichž je generována rozšířená radarová informace pokrývající ČR a okolí. V posledních dvou letech je navíc z experimentálního evropského radarového centra, které vzniklo v rámci programu OPERA, přijímána celoevropská sloučená radarová informace (obr. 6), která je v ČHMÚ dekodována a převedena do standardního obrazového formátu.

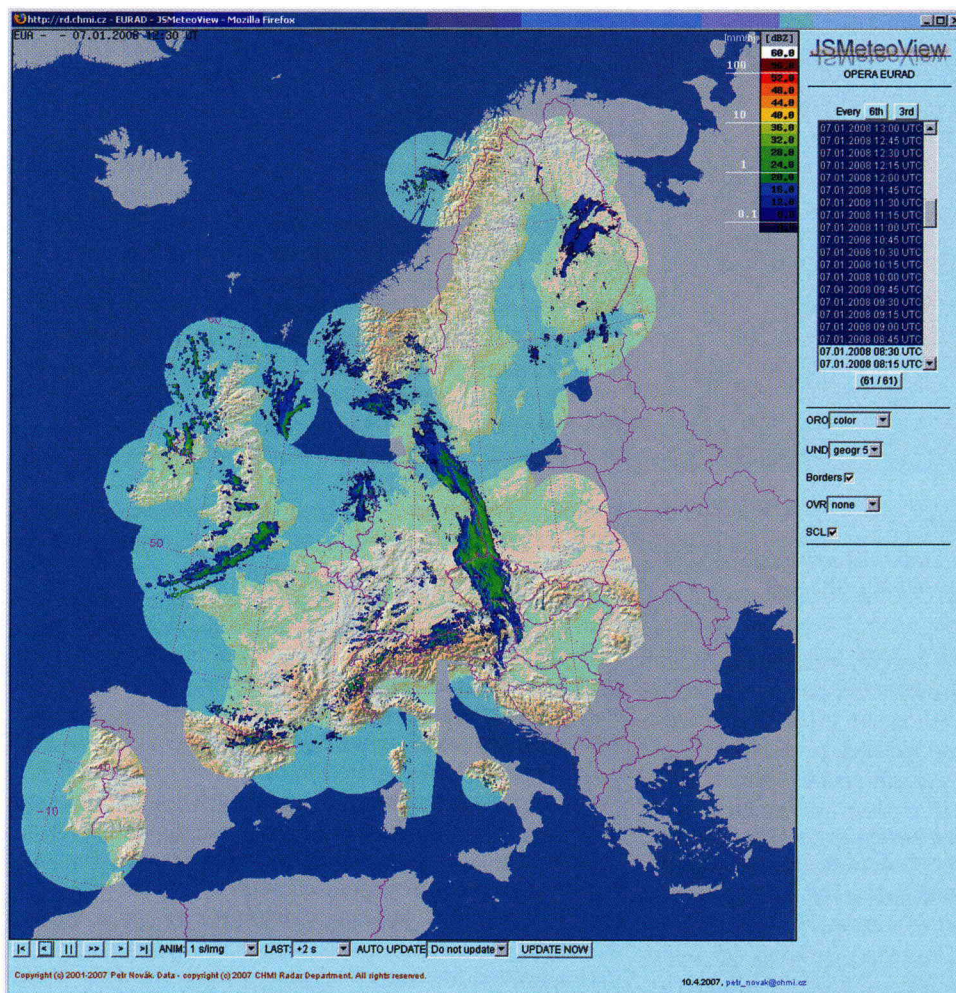
Mezinárodní výměna meteoradarových dat je zatím v praxi omezena kapacitou linek Globálního telekomunikačního systému WMO na dvojrozměrné obrazové produkty radiolokační odrazivosti (interpretované jako přízemní intenzity srážek). Dosud neexistuje pravidelná výměna objemových meteoradarových dat; datové přenosy přinášejí zřetelné zpoždění oproti národním kompozitům. Ačkoliv pokračující standardizace v rámci programu OPERA přinesla mj. dílčí vodítka pro kvalitu dat a napomohla lepší mezinárodní srovnatelnosti dat, nelze ani v nejbližších

letech uvažovat o možnosti přímé zastupitelnosti mezi národními a zahraničními meteoradarovými daty pro operativní potřeby.

## 6. PROVOZNÍ ZABEZPEČENÍ SÍTĚ CZRAD

Po technické stránce zabezpečuje provoz meteoradarové sítě pracoviště ČHMÚ – ODMI Praha-Libuš, které je také garantem metodiky měření. Zásadní otázky provozu sítě jsou pravidelně konzultovány se zainteresovanými složkami Armády ČR i dalšími klíčovými uživateli meteoradarových dat. Funkčnost radarů je v nepřetržitém provozu dohlížena provozním personálem aerologické a synoptické stanice Praha-Libuš. Základní monitoring funkce dodávky dat je v současnosti částečně automatizován (generování výstražných e-mailů a SMS zpráv při přerušení dodávky dat apod.).

I přes značnou složitost a heterogenost meteoradarové sítě (dva typy radarů od různých výrobců, vlastní zpracovatelský software, bezobslužný provoz systému aj.) je dosaženo velmi dobrých dostupností dat ca 97 %. Statistika ročních dostupností dat z radarů sítě CZRAD je shrnuta v tab. 3



Obr. 6 Ukázka experimentální sloučené evropské radarové informace programu EUMETNET OPERA, vizualizace ČHMÚ.

Fig. 6. Example of experimental European radar composite image generated by EUMETNET OPERA demonstration data hub, visualization by ČHMÚ.

společně s poznámkami o důvodech hlavních výpadků dat. Dlouhodobější výpadky byly zaznamenány při modernizaci radarů a dále v několika případech, kdy bylo třeba čekat na dodání náhradního dílu od výrobce. V roce 2006 je třeba část výpadků též připsat na vrub implementaci dodatkových filtrů do vlnovodných tras obou radarů, prováděné firmou RETIA, a. s. Tyto dodatkové filtry eliminují parazitní vyzářování radarů sítě CZRAD v pásmu 6 a 11 GHz, které rušilo provoz směrových spojů telekomunikačních operátorů.

## 7. HROZBY PRO RADAROVÁ MĚŘENÍ

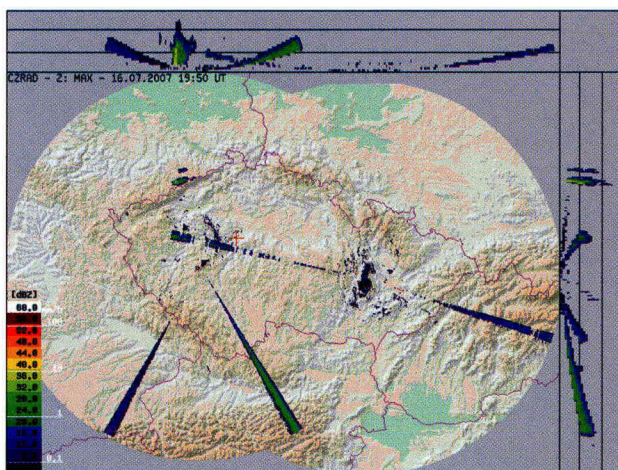
Meteorologické radary jsou velmi citlivá zařízení, která musí být schopna detekovat vysokofrekvenční signály o nejnižších technicky měřitelných výkonových úrovních. Zachycení odrazů od srážkové oblačnosti vzdálené stovky km je možné jen díky velkému zisku antény a zesílení přijatého signálu před dalším zpracováním. Pokud nějaké zařízení vysílá na stejné frekvenci jako meteorologický radar, je schopno rušit meteorologická radarová měření i při nízkých vlastních vysílacích výkonech. V uplynulých několika letech jsou na radarových snímcích pozorovatelné výšeče rušivých falešných cílů, paprskovitě se rozbíhajících z bodu umístění radaru, viz obr. 7. Intenzita těchto falešných cílů

často měření od měření kolísá, někdy i mizí. Zdrojem těchto rušení jsou zařízení RLAN (radioreléové spoje) pracující v pásmu 5 GHz, využívané poskytovateli bezdrátového internetového připojení i ostatními nadšenci z řad internetové komunity. Tato zařízení jsou v ČR provozována legálně na základě všeobecného oprávnění Českého telekomunikačního úřadu (ČTÚ) č. VO-R/12/05.2007-6 a VO-R/12/08.2005-34. Přestože tato zařízení vysílají pouze na nízkých výkonech a v rozprostřeném kmitočtovém pásmu, vzhledem k velké citlivosti meteorologických radarů mohou být zdrojem rušení. Někteří provozovatelé navíc vypínají v těchto zařízeních algoritmus detekce radarového signálu, který je schopen používání radarové frekvence blokovat a vyhnout se jí. Podle Zákona o elektronických komunikacích č. 127/2005 Sb., § 100, však nesmí tato zařízení radarovým měřením vadit, a pokud ano, jsou rušitelé povinni rušení zabránit, popř. zastavit jejich provoz. Toho však nelze jednoduše dosáhnout, na území ČR je dnes až

několik tisíc takových vysílačů, z nichž pouze jenom několik desítek občas nebo systematicky ruší radarová měření. Protože provozovatelé těchto zařízení nemají ze zákona povinnost se registrovat, nezná nikdo jejich polohu ani majitele a jejich lokalizace technickými prostředky ČTÚ je velmi složitá. Do budoucna je na evropské úrovni připravována zvyšená ochrana dílčího frekvenčního pásma 5600–5650 MHz. Z tohoto důvodu se předpokládá, po dohodě s ČTÚ, příslušné přeladění našich radarů.

V celosvětovém měřítku roste tlak na intenzivnější využívání frekvenčního spektra pro komunikační potřeby. Meteorologická radiolokace je potenciálně ohrožována i dalšími zdroji signálů v pásmu centimetrových vln. Konkrétním příkladem potenciálního zdroje rušení je plánovaná instalace amerického protiraketového radaru EBR v Brdech. Zamýšlená poloha plánovaného radaru je jen jednotky kilometrů od meteorologického radaru umístěného na kótě Praha v Brdech. V současnosti stále probíhají konzultace s cílem vzájemné ovlivnění obou zařízení vyloučit.

Celoevropskou hrozbou pro meteorologická radarová měření jsou větrné elektrárny, kterých je v současnosti v rámci podpory obnovitelných energetických zdrojů („zelené“ energie) budováno velké množství. Větrné elektrárny jsou často



Obr. 7 Ukázka rušení radarových měření (úzké radiální výseče) radioreléovými spoji pracujícími v pásmu 5 GHz.

Fig. 7. Example of disturbance of radar measurements (thin sectors) caused by RLAN communication devices working in 5 GHz band.

s ohledem na zajištění dostatečné četnosti výskytu silnějšího větru budovány na vyvýšených stanovištích, jaká bývají vhodná i pro umístění meteorologických radarů [5]. Pokud je větrná elektrárna postavena v blízkosti jednotek či několika málo desítek kilometrů na místě opticky (a tedy i radiově) viditelném z meteorologického radaru, může představovat problém pro radarová měření. Větrná elektrárna působí jednak jako překážka v radarovém horizontu, za kterou se vytváří radiový stín, jednak v místě elektrárny vzniká neodfiltrovatelný falešný odraz a vzhledem k otáčení vrtule jsou znehodnocena i měření dopplerovských radiálních rychlostí. Problémy narůstají s koncentrací elektráren do tzv. farem na jednom místě. V některých evropských zemích jsou větrné elektrárny již vážným problémem pro radarová měření a došlo již i k nucenému přemístění meteorologického radaru z důvodu výstavby farem větrných elektráren v jeho okolí. V ČR je takto ohrožován zejména radar Skalky, poloha radaru Brdy je díky umístění ve vojenském prostoru v tomto ohledu výhodnější.

Kvalita meteoradarových dat závisí na radiohorizontu, neboť pro měření ve velkých vzdálenostech jsou potřebné elevační úhly okolo  $0^\circ$ . Negativně se může projevit okolní výstavba (např. věží GSM vysílačů) nebo nárůst okolního porostu. V bezprostředním okolí meteoradarů jsou stanoveny ochranná pásma, která by měla regulovat okolní zástavbu. V posledních letech se ve spolupráci s lesním závodem podařilo vytipovat a postupně nechat pokácet většinu z blízkých stromů, které způsobovaly dílčí zastínění ve východních směrech od radaru Skalky.

## 8. ZÁVĚR

Česká meteorologická radarová síť CZRAD je moderní síť poskytující data na zcela srovnatelné evropské úrovni. Měření meteorologických radarů jsou důležitá nejen pro operativní meteorologii a hydrologii, ale i pro mnoho dalších uživatelů. Speciálně navržená definice objemového měření umožňuje rychlou aktualizaci dat při zachování jejich dostatečně detailního prostorového rozlišení. Vývoj vlastních zpracovatelských a vizualizačních nástrojů zajišťuje flexibilitu při plnění různorodých uživatelských požadavků. Meteorologické radary jsou v současnosti ohrožovány několika vlivy, které znehodnocují nebo mohou potenciálně znehodnocovat jejich měření.

## Literatura

- [1] STRACHOTA, J., 1981. Využití meteorologického radiolokátoru TESLA RM-2 při zajišťování požadavků uživatelů meteorologických radiolokačních informací. *Meteorologické Zprávy*, roč. **34**, č. 1, s. 4–8.
- [2] STRACHOTA, J., 1983. Lokalizace a identifikace nebezpečných letních konvektivních jevů meteorologickým radiolokátorem MRL-2. *Meteorologické Zprávy*, roč. **36**, s. 147–157.
- [3] STRACHOTA, J., 1985. Radiolokační měření srážek pro hydrologické účely. *Meteorologické Zprávy*, roč. **38**, s. 137 až 140.
- [4] KRÁČMAR, J., 1995. Automatizace radaru MRL-5 v provozu Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické Zprávy*, roč. **48**, s. 37–44.
- [5] KRÁČMAR, J., 1994. Radiohorizonty a výskyt pozemních cílů pro radiolokační síť ČR. *Meteorologické Zprávy*, roč. **47**, s. 163–171.
- [6] HAVRÁNEK, P. – KRÁČMAR, J., 1996. Nová meteorologická radiolokační stanice na střední Moravě. *Meteorologické Zprávy*, roč. **49**, s. 81–84.
- [7] KRÁČMAR, J., 2000. Nový meteorologický radar Brdy v síti CZRAD. *Meteorologické Zprávy*, roč. **53**, s. 161 až 168.
- [8] ŠÁLEK, M. – KRÁČMAR, J. – NOVÁK, P. – SETVÁK, M., 1997. Využití distančních metod při povodňových událostech v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, roč. **50**, s. 177–178.
- [9] ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – KRÁČMAR, J., 2002. Využití metod dálkové detekce během povodní v České republice v srpnu roku 2002. *Meteorologické Zprávy*, roč. **55**, s. 177–179.
- [10] SETVÁK, M. – NOVÁK, P. – ŠÁLEK, M., 2004. Tornáda 31. května 2001 na území ČR. *Meteorologické Zprávy*, roč. **57**, s. 101–112.
- [11] ŘEZÁČOVÁ, D. – SOKOL, Z. – PEŠICE, P., 2007. A radar-based verification of precipitation forecast for local convective storms. *Atmospheric Research*, Vol. **83**, s. 211–224.
- [12] SOKOL, Z. – ŘEZÁČOVÁ, D., 2006. Assimilation of radar reflectivity into the LM COSMO model with a high horizontal resolution. *Meteorological Applied*, Vol. **13**, s. 1–14.
- [13] Stránky radarového oddělení ČHMÚ. Dostupné na: <<http://www.chmi.cz/meteo/rad/>>
- [14] Mapový webserver. Dostupné na: <<http://www.mapy.cz/>>
- [15] Mapový webserver. Dostupné na: <<http://www.amapy.cz/>>
- [16] ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – SEO, D.-J., 2004. Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. *ERAD publication series*, **2**, ISBN 3-936586-29, 16–20.
- [17] ZACHAROV, P. – ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P., 2004. Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek. *Meteorologické Zprávy*, roč. **55**, s. 157–167.
- [18] NOVÁK, P., 2007. The Czech Hydrometeorological Institute's Severe Storm Nowcasting System. *Atmospheric Research*, Vol. **83**, s. 450–457.
- [19] NOVÁK, P. – FROLÍK, P. – BŘEZKOVÁ, L., 2007. Nowcasting srážek pomocí extrapolace radarového echa. *Meteorologické Zprávy*, roč. **60**, s. 147–152.
- [20] KYZVAROVÁ, H. – NOVÁK, P., 2008. Využití radarových měření pro identifikaci a předpověď pohybu konvektivních bouří. *Meteorologické Zprávy*, roč. **61**, s. 14–19.
- [21] Program EUMETNET-OPERA. Dostupné na: <<http://www.knmi.nl/opera/>>

Lektor (Reviewer) RNDr. J. Strachota.