VYUŽITÍ METEOROLOGICKÝCH RADIOLOKÁTORŮ PRO ODHAD A NOWCASTING SRÁŽEK V ČHMÚ

Milan Šálek, Petr Novák

Největší výhodou meteorologických radiolokátorů je plošné pokrytí a poskytování naměřených údajů v téměř reálném čase. Z hodnot radiolokační odrazivosti je možné vypočítat intenzitu srážek a jejich akumulaci na delší časové období, nicméně výsledný odhad srážek může být zatížený nezanedbatelnými chybami, které jsou způsobeny mnoha činiteli a jejich vzájemnou kombinací. Proto je užitečné opravovat radarový odhad srážek pomocí vhodných algoritmů, mezi nimiž jsou nejznámější korekce pomocí vertikálních profilů a různé metody adjustace radarového odhadu pomocí vztahu srážkoměrných měření a územně příslušných radarových odhadů. U Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) je v provozu procedura adjustace radarových odhadů a kombinace adjustovaných radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními. Výsledky kombinované analýzy se již využívají jako srážkové vstupy v některých hydrologických modelech, zároveň se v některých aplikacích testují i výsledky extrapolace srážkových intenzit (nowcasting srážek). V příspěvku je uveden stručný popis zpracování radarových odhadů srážek u ČHMÚ a využití v hydrologii a varovné protipovodňové službě.

Klíčová slova: Meteorologický radar, odhad srážek, varovná protipovodňová služba, hydrologické modelování

The use of weather radars for the estimation and nowcasting of precipitation at the CHMI. *The best advantage of weather radar is the areal coverage and prompt quasi-real-time availability of the data. Radar reflectivity can be recalculated to precipitation rate and then to precipitation accumulation for longer time period but the resulting estimate can be accompanied by non-negligible errors stemming from many factors and their combinations. Therefore it is useful to correct the radar quantitative precipitation estimate (QPE) by suitable algorithms, among which vertical profile of reflectivity and raingauge adjustment methods are the best known. At the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) there is a running procedure of adjustment of the radar precipitation estimates and the combination of the adjusted radar estimate with available raingauge measurements. The resulting combined precipitation estimates are being used as inputs in some hydrological models. Moreover, some tests of using extrapolated ("nowcasted") precipitation intensities have been performed. The contribution briefly describes the radar-based and combined QPE at and presents examples of its use in hydrology and flood warning system.*

Key words: Weather radar, precipitation estimation, flood warning system, hydrological modelling

---

ÚVOD

Meteorologický radar poskytuje v současné době hojně používané informace o aktuálním stavu a vývoji počasí. Výsledkem měření radaru jsou především údaje o srážkově významné oblačnosti, ale je možné jej využít i pro odhad vertikálního profilu proudění. Stále více je používán k detekci nebezpečných povětrnostních jevů spojených se srážkami, zejména s konvektivními bouřemi, a může poskytovat též operativní odhady plošných srážek.

Tradiční metoda odhadu plošných srážek spočívá ve využívání srážkoměrných měření a následném přepočtu na plochu pomocí známých algoritmů, mezi nimiž můžeme jmenovat Thiessenovy polygony či krigování. Výhodou tohoto postupu je sice relativně vysoká přesnost vstupních srážkoměrných měření, ale mezi nevýhody je nutné uvést zejména problematickou reprezentativnost měření pro okolí srážkoměrné stanice, zejména při konvektivních srážkách. Naproti tomu je hlavní výhodou radarových odhadů plošné pokrytí území až v řádu stovek tisíc km^2 s věrně zachycenou prostorovou proměnlivostí a rychlá dostupnost naměřených dat, nicméně radarová měření jsou poměrně složitá a výsledný odhad srážek může být zatížen mnoha chybami.

Základem odhadů srážek konvenčními meteorologickými radary pracujícími pouze s jednou polarizací je přepočet radarové odrazivost z na intenzitu srážek R [mm/h] pomocí vztahu z-R (též známý jako Marshall-Palmerův vztah) :

$$z = aR^b \qquad [1]$$

V Evropě (včetně ČHMÚ) je nejčastěji používán s konstantami a=200, b=1,6, které byly odvozené pro vrstevnaté srážky ve středních zeměpisných šířkách.

Z hodnot radarové odrazivosti, která by měla být co nejreprezentativnější pro zemský povrch, se vypočítá intenzita deště a integrací se získá akumulace srážek pro příslušný časový interval.

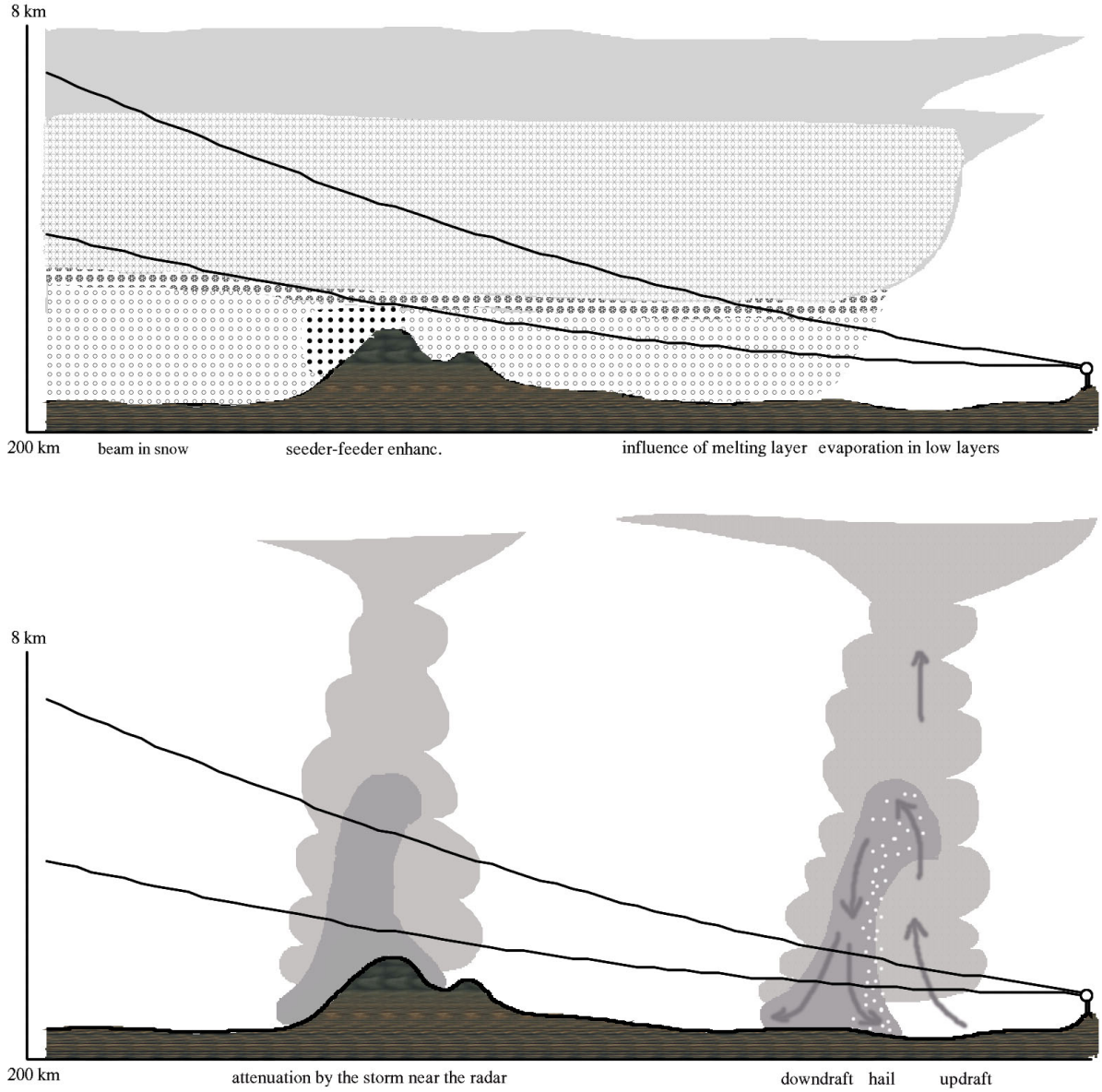
Digitalizace radarových měření v 90. letech a zejména instalace nového dopplerovského radiolokátoru na kótě Skalky na střední Moravě v letech 1995-1996 významně iniciovaly zájem českých odborníků o využívání radarových odhadů srážek [Šálek a Kráčmar, 1996]. Již při prvních testech, které srovnávaly denní radarové odhady srážek radaru Skalky s korespondujícími srážkoměrnými měřeními, se ukázaly mnohé chyby a problémy. Mezi nejdůležitější vlivy patří proměnlivá šířka radarového paprsku a jeho výška nad zemí, které rostou se zvětšující se vzdáleností od radaru a způsobují systematické podceňování srážek v závislosti na vzdálenosti od radaru. Dále je nutné brát do úvahy možné blokování radarového paprsku terénními či jinými překážkami, mezi které patří stožáry, stromy či v poslední době stále častěji vztyčované větrné elektrárny. Při vlnových délkách radarového signálu blízkých 5 cm není také možné zanedbat útlum ve srážkách. V úvahu je nutné brát též efekt rozdílné fáze srážek, zejména pak v chladné polovině roku. Ve vzdálenosti několika desítek kilometrů od radaru se při velkoprostorových deštích často projevuje tzv. „bright band“, což je nadměrně zesílená odrazivost v zóně tání pevných srážek pod nulovou izotermou.

Poněkud překvapujícím zjištěním byla velikost odchylek radarových odhadů a korespondujících srážkoměrných měření v horských oblastech, především při velkoprostorových srážkách (krajinných deštích) a silnějším větru. Jak např. uvádí Grey a Seed [2000], dokonce kopce o výšce 50 m mohou při vhodných podmínkách způsobit zesílení srážek o 10-40%, přičemž uvedené zesílení nastává především ve výšce do 500 m nad terénní vyvýšeninou. Tento druh orografického zesílení je v literatuře známé jako „seeder-feeder“ a nastává při velkoprostorových deštích a silnějším větru, kdy se na návětrných svazích tvoří vlivem orograficky podmíněných výstupných pohybů mlha, která je „vymývána“ srážkami vznikajícími většinou ve střední troposféře. Při extrémních situacích může uvedené orografické zesílení dosáhnout až stovek procent, což se následně projevuje příslušnou chybou radarových odhadů [např. Šálek et al., 1997, 2002]. Odchylky radarového měření od údajů srážkoměrů jsou v horských oblastech navíc ovlivněny terénními překážkami, které omezují radarovou „viditelnost“ nižších hladin, a specifickým rozdělením velikosti kapek, které přispívá k podcenění radarových odhadů. Tyto chyby se špatně korigují; možným řešením je vhodnější místo radarové stanice, což je málokdy proveditelné, případně korekce založené na klimatologii orografického zesílení [Collier, 1996, Šálek et al., 2004].

Orografické zesílení srážek mechanismem „seeder-feeder“ je nutné odlišit od orografií vyvolané konvekce („triggered convection“), viz Grey a Seed [2000]. Pro detekci i kvantitativní odhad *konvektivních* srážek (nejenom vyvolaných orografií) je radar relativně nejlepším nástrojem, a to především z důvodu velké časoprostorové proměnlivosti tohoto druhu srážek a též vlivem podstatně většího vertikálního rozměru konvektivní oblačnosti a tudíž její lepší radarové viditelnosti.

Stručný souhrn meteorologických chyb radarových odhadů srážek je na obr. 1. Z běžných problémů můžeme ještě zmínit vypařování srážkových částic v suchých níže ležících vrstvách vzduchu, což má za následek mírné přecenění srážkových úhrnů, které ale většinou nabývá malých absolutních hodnot. Přecenění srážkových úhrnů je někdy pozorovatelné u konvektivních srážek při výskytu krup, či obecně při větším výskytu větších srážkových částic, a to z důvodu závislosti odrazivosti na šesté mocnině průměru částic. V případě detailního zkoumání konvektivních srážek je důležité si uvědomit, že v místech intenzivních sestupných proudů dochází k podcenění intenzity srážek, zatímco vzestupné pohyby mají za následek menší tok srážek k zemskému povrchu, tudíž přecenění srážkové intenzity. Proto je vhodnější integrovat (průměrovat) srážkové úhrny pro větší oblast (od 5 km^2 výše, spíše desítky km^2), kde se oba vlivy alespoň částečně kompenzují.

Při porovnávání radarových odhadů se srážkoměrnými měřeními je potřeba jisté opatrnosti, neboť srovnáváme „bodová“ měření srážkoměrů s radarovým odhadem reprezentujícím plochu typicky 1 km^2, přičemž i denní úhrny zejména konvektivních srážek mohou vykazovat až řádové rozdíly na vzdálenost jednoho kilometru.



Obr. 1. Schématický obrázek meteorologických příčin chyb radarových odhadů srážek ve velkoprostorových (nahoře) a konvektivních (dole) srážkách. Horizontální rozsah konvektivních buněk je uměle zvětšen pro lepší zobrazení.

Fig. 1. Diagram of typical meteorological errors of radar-based QPE of stratiform (top) and convective (bottom) precipitation. The horizontal extent of the storm cells (bottom) is artificially amplified for better depiction.

TVORBA OPTIMÁLNÍHO OPERATIVNÍHO ODHADU SRÁŽEK V ČHMÚ

Digitalizace radarových měření a možnost rychlého zpracování dat pomocí stále dostupnější a rychlejší výpočetní techniky vedlo v posledních deseti letech k lepšími využití radarových dat a k vývoji algoritmů, které alespoň částečně chyby radarového měření korigovaly. Radarové odhady je možné korigovat buď statistickými korekcemi [Kráčmar et al., 1998, Sokol, 2003, Sokol a Řezáčová, 2001] nebo pomocí vertikálních profilů odrazivosti [Novák, 2000, Novák a Kráčmar, 2000], případně je možné radarové odhady adjustovat pomocí měření srážkoměrů [Gjersen et al, 2004]. Stále více se objevují kombinace radarových odhadů srážek se srážkoměrnými měřeními [Fulton et al, 1998, Seo, 1998, Šálek et al., 2004], které zřejmě vytvářejí nejúplnější operativní obraz rozložení atmosférický srážek z dostupných informačních zdrojů.

V Českém hydrometeorologickém ústavu je již několik let v provozu procedura, adjustace radarových odhadů srážek a kombinace adjustovaných odhadů s dostupnými srážkoměrnými měřeními. Radarové odhady se počítají z hodnot odrazivosti nejbližší hladině 2 km (pseudoCAPPI 2km) pomocí standardního Marshall-Palmerova vzorce a s možností využít korekce pomocí vertikálních profilů odrazivosti.

Dalším krokem zpracování radarových odhadů srážek je adjustace. Podobně jako v proceduře popsané Fultonem et al. [1998] se pro adjustaci používá jeden adjustační koeficient pro celou radarovou doménu. U výpočtu adjustačního koeficientu však vyvstává následující problém. Srážkoměrná měření a korespondující radarové odhady nemusejí vždy přesně odpovídat vztahu „skutečných“ spadlých srážek a radarových odhadů pro celé území, a to z důvodu výše zmíněného problému reprezentativnosti srážkoměrných měření a reprezentativnosti poměru „radar/srážkoměr“ pro celou radarovou doménu. Jestliže však sčítáme tyto odhady pro delší časové období, pak se nám výpočet adjustačního koeficientu stabilizuje a jeho fluktuace jsou menší. Proto se u většiny podobných adjustačních procedur bere v úvahu několikadenní až několikatýdenní klouzavé časové „okno“ [Gjertsen et al., 2004]. Po určitém testování délky časového okna bylo jako optimální určeno pružné klouzavé období, které musí obsahovat srážkové údaje alespoň tří dnů, ve kterých byl příslušný radar v provozu alespoň 90% času a celkový průměrný úhrn srážek za toto období činil alespoň 5 mm, přičemž se nemusí jednat o spojité období. Zároveň musí být počet srážkoměrných stanic vykazujících naměřené úhrny srážek větší než pět. K sumám srážek posledního dne se přičítají i srážky za aktuální hodinová období od konce posledních „denních“ srážek, tj. období 07-07 SEČ, takže se adjustační koeficient může slabě měnit i každou hodinu v závislosti na aktuálně naměřených srážkách a příslušných radarových odhadech. Adjustační koeficient (bias) se v popisované proceduře počítá podle následujícího vzorce:

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{m} G_j \right)_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{m} R_j \right)_i} \quad , \qquad (2)$$

kde G_j, resp. R_j, jsou denní úhrny srážkoměrných měření, resp radarových odhadů na místě srážkoměrných stanic, zatímco w_i jsou váhy určené tak, aby byl jejich součet 1 a zároveň poslední (časově nejvíce vzdálené) použité denní srážkové sumy měly váhu 0.05, přičemž „pokles“ vah je dán negativně exponenciálním vztahem $w_i = \exp(-\lambda i)$, kde parametr λ se počítá pomocí výše uvedené podmínky $w_n = 0.05$. Členy v závorce odpovídají územním sumám příslušných srážkových úhrnů. Započítávají se pouze stanice do 150 km od radaru a do výšky 700 m nad hladinou moře, protože příliš vzdálené či horské stanice nejsou pro radarovou doménu reprezentativní.

Adjustovaný radarový odhad se poté kombinuje s operativně dostupnými srážkoměrnými měřeními pomocí zjednodušené metody optimálního odhadu autora D.-J. Seo [1998]. U této metody se předpokládá, že srážkoměrné měření je reprezentativní pro daný radarový územní element (1x1 km) a že zde platí údaj srážkoměru. V ostatních pixelech je výsledný optimální odhad počítán jako lineární

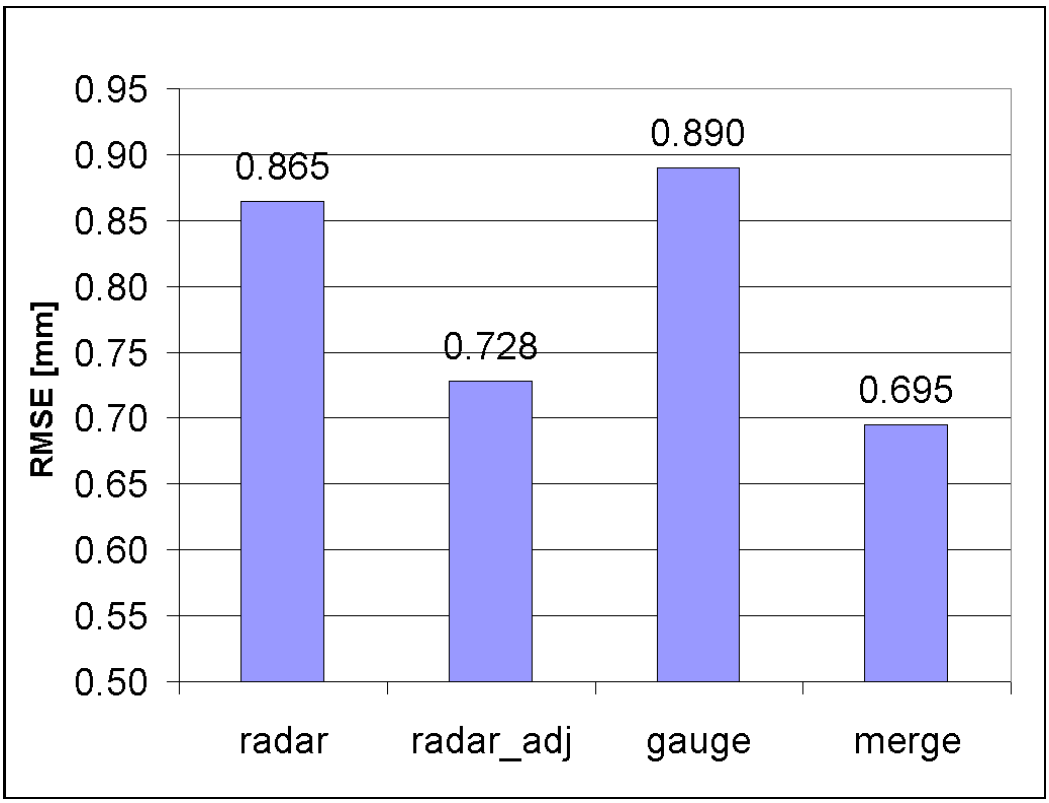
kombinace srážkoměrných měření a radarových odhadů, přičemž váhy srážkoměrných měření klesají s rostoucí vzdáleností od srážkoměrných stanic podle negativně exponenciální funkce. Zjednodušeně to vyjadřují rovnice (3):

$$R_m = a \cdot G + (1-a) \cdot R, \qquad a = \exp(-d / konst.), \tag{3}$$

kde R_m je výsledný „kombinovaný“ odhad v daném územním elementu, G nejbližší srážkoměrné měření či odhad z nejbližších měření, R radarový odhad a d vzdálenost od nejbližšího srážkoměru.

VERIFIKACE POČÍTANÝCH ODHADŮ SRÁŽEK

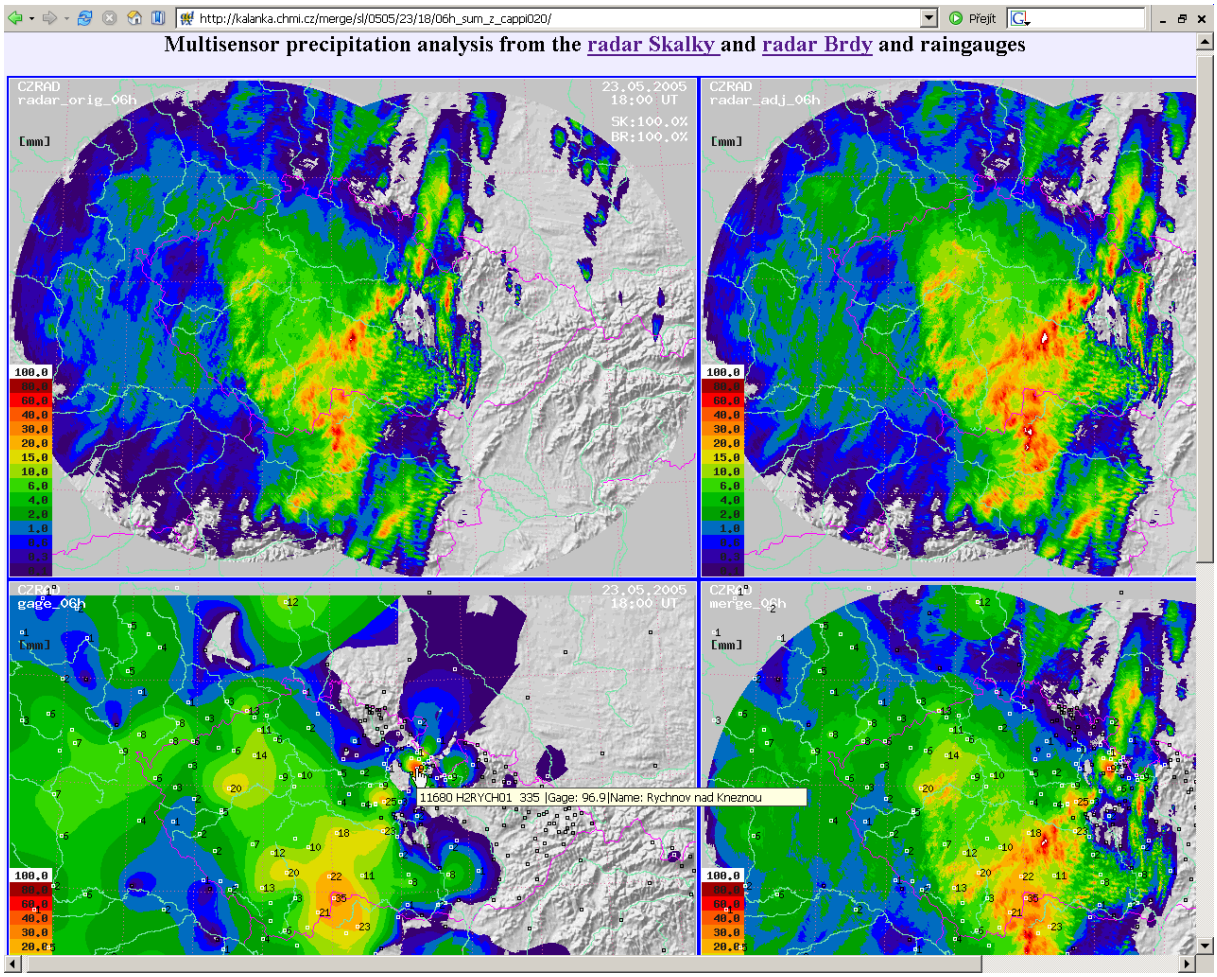
Pro zhodnocení relativní přesnosti hodinových odhadů byly pro období 6. –16. srpna 2002 vypočteny všechny odhady pro lokality (územní elementy 1x1 km) stanic, u kterých byly zjištěny hodinové úhrny digitalizací „klasických“ ombrogramů. Tato data z ombrografů pak sloužily jako verifikační údaje a vůči nim byla vypočtena střední směrodatná odchylka (Root Mean Square Error, RMSE) všech odhadů v doméně radaru Brdy. Z uvedeného srovnání (viz obr. 2) vyplývá, že pro radar Brdy relativně nejmenší průměrnou chybu vykazuje kombinace, jen o málo je horší adjustovaný radarový odhad, přičemž neadjustovaný radarový odhad a operativně dostupné srážkoměrné údaje zaznamenávají odchylku největší.



Obr. 2. Střední směrodatná odchylka (Root Mean Square Error, RMSE) hodinových radarových odhadů, adjustovaných radarových odhadů, srážkoměrných odhadů a kombinovaných odhadů pro lokality (územní elementy 1x1 km) ombrografických stanic za období 6. - 16. 8. 2002. V operativních analýzách byla použita data 40 srážkoměrů, přičemž použitá doména byla omezena na kruh o průměru 150 km od radaru Brdy. Pro verifikaci bylo využito 74 ombrografických stanic.
Fig. 2. Root Mean Square Error of hourly radar estimates, adjusted radar estimates, raingauge-only estimates and merged estimates for pixels of pluviograph stations for 6-16 August 2002. In the analyses 40 raingauges were used, the domain reached up to 150 km far from radar Brdy. For the verification 74 pluviograph station were used.

VIZUALIZACE ODHADŮ SRÁŽEK

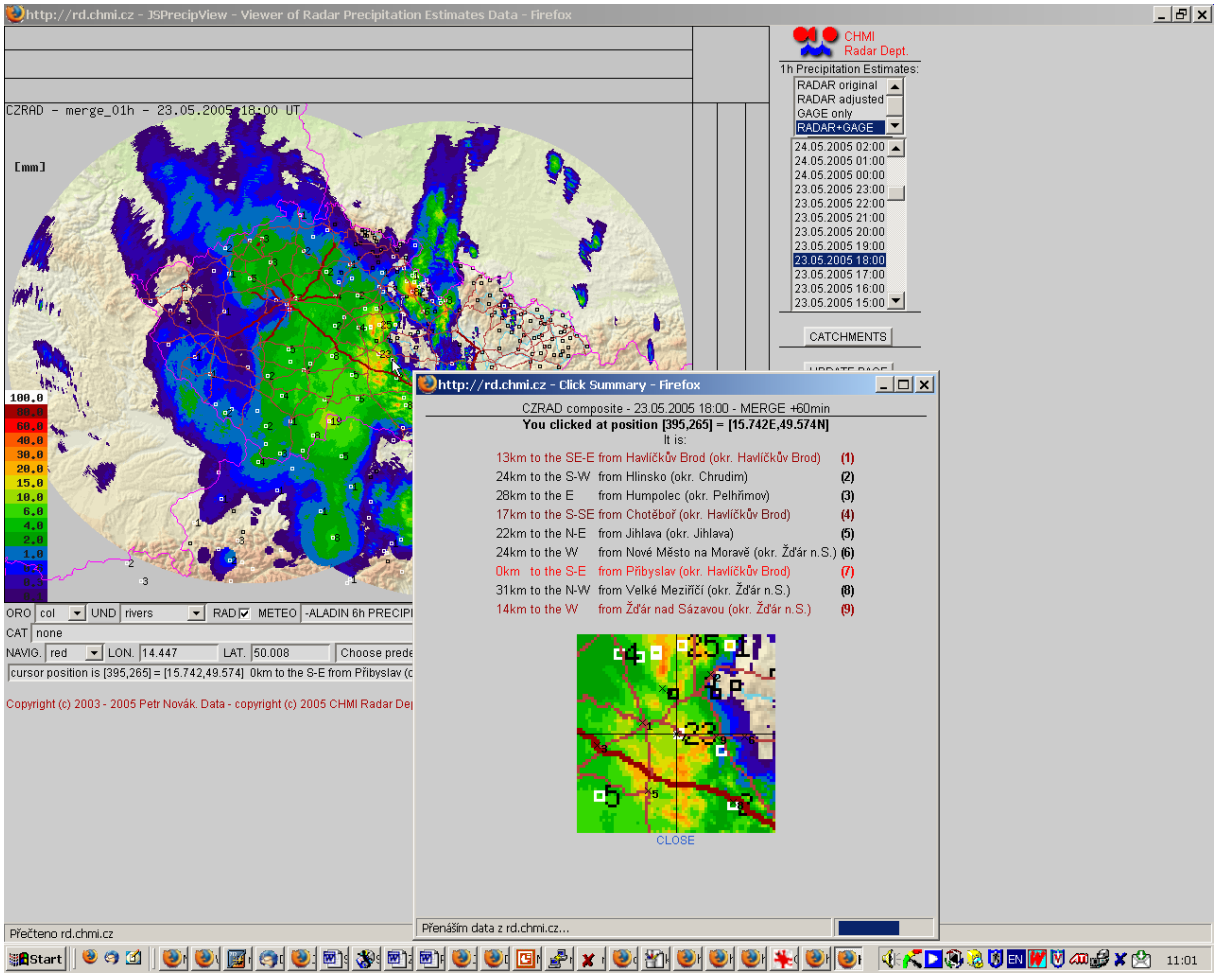
Pro zobrazování a porovnávání všech typů odhadu (původní radarový odhad, adjustovaný radarový odhad, odhad srážek pouze s využitím srážkoměrů a výsledná kombinace) se využívají dvě internetové aplikace (využívající technologie DHTML, JavaScript a PHP). Obě ukazují všechny možnosti odhadu plošného rozložení srážek v doméně radarů Skalky a Brdy: původní radarový odhad, radarový odhad adjustovaný pomocí srážkoměrů, odhad pouze s využitím srážkoměrných údajů a kombinaci adjustovaného radarového odhadu se srážkoměrnými měřeními. Pro detailnější rozbor vztahů srážkoměrných měření a příslušných radarových odhadů slouží diagnostická verze, která poskytuje podrobnější statistické údaje srážkoměrných a radarových údajů a kde je možné snáze identifikovat příslušné stanice (obr. 3). Součástí každého odhadu je i korelační pole ukazující těsnost vztahu srážkoměrných měření a příslušných radarových odhadů a výpis „podezřelých“ a chybných měření srážkoměrů.



Obr. 3. Ukázka diagnostické verze kombinované analýzy srážek ve formě sloučené informace z obou radarů české meteoradarové sítě CZRAD. Vlevo nahoře je původní radarový odhad, vpravo nahoře je adjustovaný radarový odhad, vlevo dole srážkoměrné pole a vpravo dole výsledná kombinace. Na všech obrázcích je možné zjistit jména srážkoměrných stanic přesunutím kurzoru nad příslušnou lokalitu, což je demonstrováno na srážkoměrném poli.

Fig. 3. Example of diagnostic version of the combined precipitation analysis in a form of composite of both radars of the Czech weather radar network CZRAD. Top left is original radar estimate, top right is adjusted radar estimate, bottom left is raingauge-only field and bottom right is the merged estimate. At all the pictures you can find the raingauge name by pointing of the cursor to the station location as shown at the gauge-only estimate.

Pro rutinní přehled o spadlých srážkách a též pro účely varovné protipovodňové služby je v ČHMÚ v provozu systém JSPrecipView, který přehledně ukazuje všechny možnosti odhadů srážek, přičemž jen vybaven poměrně kvalitními možnostmi navigace (lokalizace na mapě, viz obr. 4) i dalšími vlastnostmi geografických informačních systémů. Aplikace navíc počítá plošné odhady srážek na předdefinovaná povodí třetího řádu s volitelným zobrazením časového vývoje do 21 dnů od aktuálního data (obr. 5).



Obr. 4. Aplikace JSPrecipView zobrazující kombinaci radarových odhadů srážek a srážkoměrných měření. Zde je ukázáno přiblížení a navigace.
Fig. 4. Application JSPrecipView showing the merged precipitation estimate with the zooming and geographical navigation.

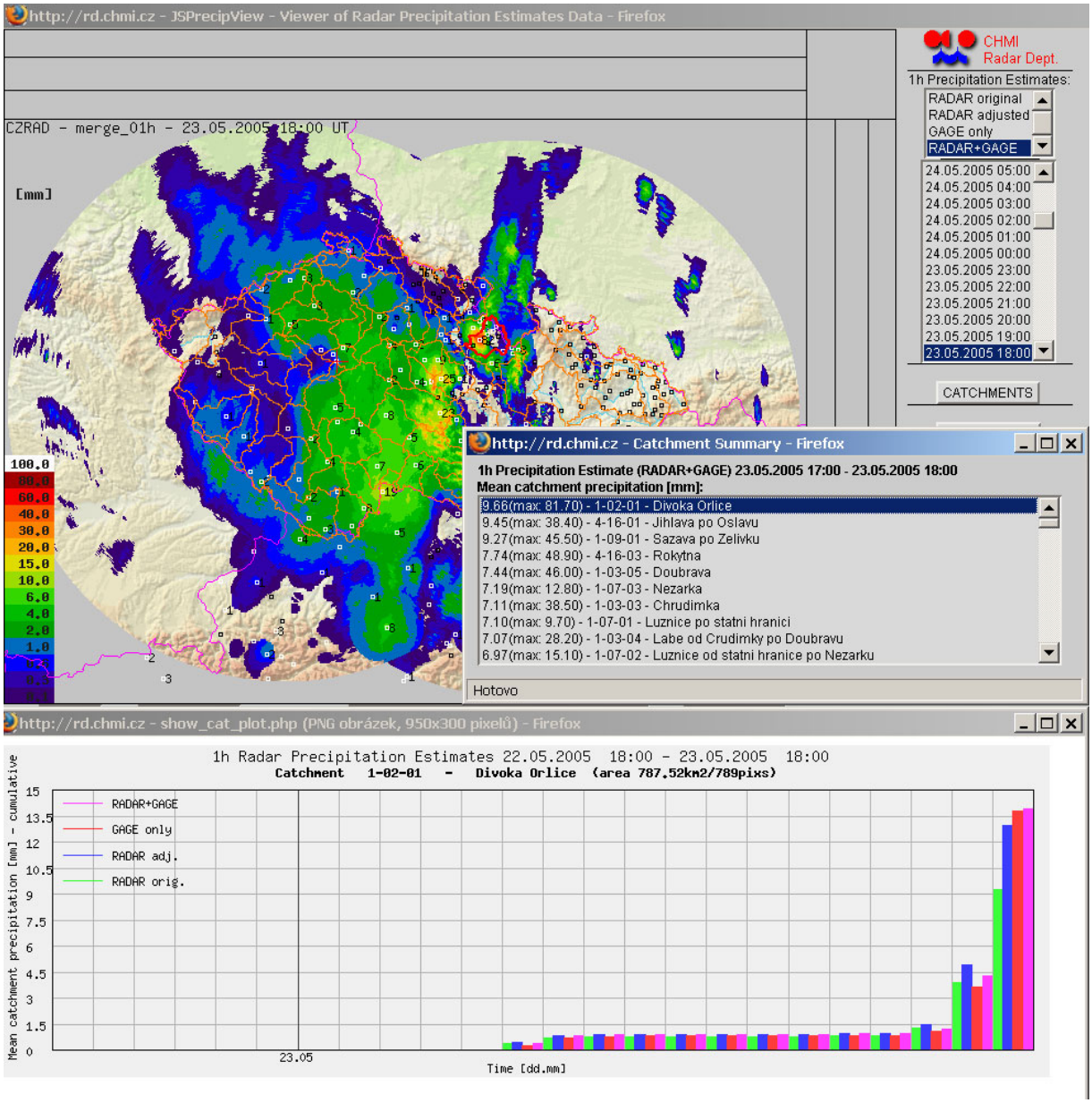
U těchto odhadů se též obrazují důležité relativní údaje o dostupnosti radarových měření, tj. podíl uskutečněných měření k plánovaným, a dále hodnoty adjustačních koeficientů, jejichž neobvyklé hodnoty mohou indikovat problémy s technickým zařízením radaru. Na počátku roku 2004 byla též vyvinuta aplikace, která vykresluje časový vývoj srážkoměrných měření a korespondujících radarových odhadů, což mj. velmi napomáhá při vyhledávání chyb srážkoměrů.

VYUŽITÍ KOMBINOVANÉ ANALÝZY V HYDROLOGICKÝCH MODELECH

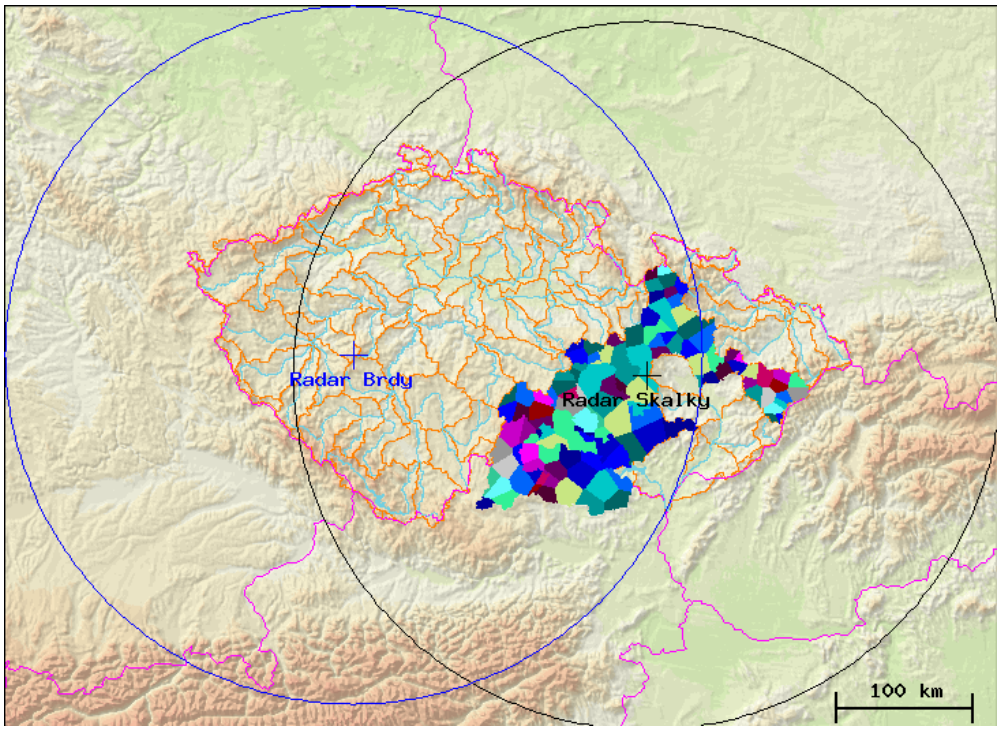
Na brněnském a ostravském Regionálním předpovědním pracovišti ČHMÚ se kromě těchto aplikací využívají výsledné kombinace adjustovaných radarových odhadů a srážkoměrných měření jako alternativní vstupní údaj do hydrologického modelu HYDROG. V současné době (léto 2005) se rutinně počítají plošné odhady kombinovaného odhadu pro Thiessenovy polygony příslušné

instalovaným nebo předpokládaným stanicím, přičemž proběhly první případové studie s modelováním významných epizod a zejména silných konvektivních srážek [Šálek et al., 2004]. Případy silné konvekce ukazují, že rozdělení povodí na Thiessenovy polygony je velmi hrubé a že pro věrnější modelování těchto případů je nutné podstatně jemnější dělení až do velikosti dílčích povodí kolem 10 km^2. Z důvodu jednoduchého alternativního využití kombinovaných odhadů srážek se však budou kombinované odhady i nadále rozpočítávat na Thiessenovy polygony.

O hydrologickém modelu Hydrog a též o využívání zmíněných odhadů srážek pojednává též práce Soukalové a Březkové [2005], která je uvedena v tomto sborníku.



Obr.5. Výpočet hodinových průměrných srážek na povodí aplikace JSPrecipView s vykreslením časového vývoje všech uvažovaných typů odhadů. Na mapě je zobrazena výsledná kombinace.
Fig. 5 Calculation of the hourly mean areal precipitation for given catchment provided by the application JSPrecipView with the time series of all the considered estimates. The maps shows the merged estimate.



Obr. 6. Thiessenovy polygony, pro které se v r. 2005 operativně počítají kombinované radaro-srážkoměrné odhady srážek, využívané v hydrologickém modelu Hydrog.
Fig. 6. Thiessens polygons used for the calculation of mean areal precipitation of the merged radar-raingauge estimates which are used in hydrological model Hydrog. Situation dates to 2005.

VYUŽITÍ KOMBINOVANÉHO ODHADU VE VAROVNÉ PROTIPOVODŇOVÉ SLUŽBĚ ČHMÚ

Uvedený systém kombinovaného odhadu srážek se též využívá pro proceduru detekce nadlimitních srážkových úhrnů. Algoritmus detekce spočívá v hledání nejvyšších srážkových úhrnů všech typů odhadů a v případě, že je překročena předdefinovaná hodnota, je v interním komunikačním systému ČHMÚ vydán varovný bulletin WGCZ61. V něm jsou pro danou lokalitu vypsány všechny odhady včetně interpolace ze srážkoměrů, což slouží pro porovnání a pro případné odhalení chyb příslušných měřících systémů. Ukázka bulletinu je zde:

```
WGCZ61 OKTB 231510

Termin: 23.5.2005 15 UTC.     Akumulace: 1 h.
Vydano: 23.5.2005 15.10 UTC.

   39.6      43.8 *     0.1      43.8     Vysocina              15.282 49.390
   37.6      41.6 *     0.3      33.9     Jihocesky             14.714 48.970

   80.9      89.6 *     0.1      89.6     Mimo CR               15.022 48.440

-------------------------------------------------------------------------------
Rad. orig. Rad. adj. Srazkom.  Kombinace   Kraj                  Delka  Sirka

-------------------------------------------------------------------------------
    Vypis vyznamnych srazek (v mm) z oblasti CR a okoli z meteorologickych
          radiolokatoru site CZRAD a dostupnych mereni srazkomeru.

            UPOZORNENI: Tato informace musi byt vizualne proverena
          na http://rd.chmi.cz/rad/ nebo http://kalanka.chmi.cz/merge.
             Vysoke hodnoty mohou vzniknout tez chybou systemu.
-------------------------------------------------------------------------------
                    Pripravil: Milan Salek, salek@chmi.cz
-------------------------------------------------------------------------------
```

Součástí výpisu je uvedení kraje, kde k překročení došlo, dále zeměpisná délka a šířka ve tvaru, který je možné okamžitě použít pro lokalizaci v systému JSPrecipView. Jak je uvedeno v ukázce bulletinu,

po obdržení bulletinu je nutné vizuálně prověřit, zda vydání bulletinu skutečně odpovídá nebezpečnosti vývoje nebo zda nejde o planý poplach způsobený nějakou chybou systému nebo čidel.

NOWCASTING SRÁŽEK

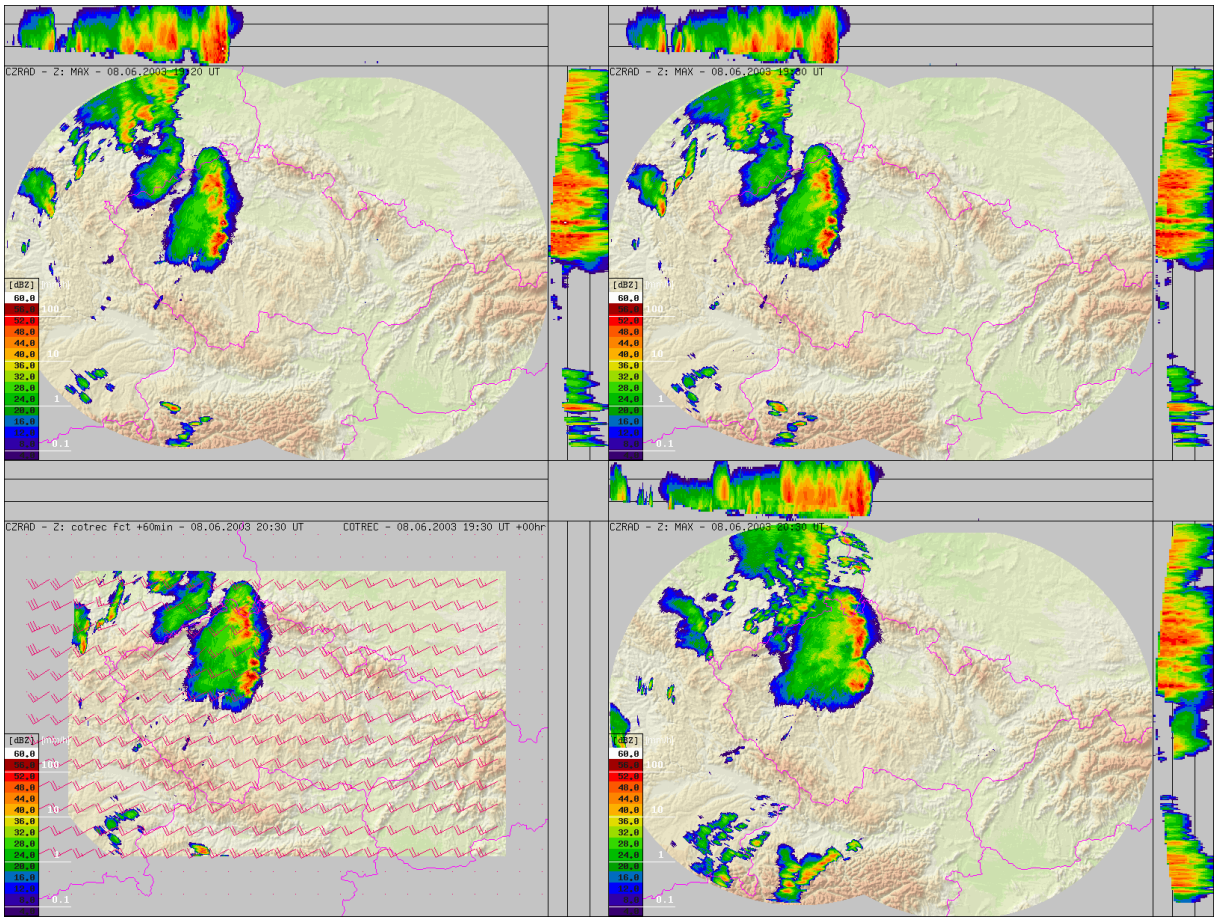
Po testování několika různých procedur [Novák et al., 2002] byly v roce 2003 do operativního provozu ČHMÚ zavedeny dvě metody předpovědi radarového echa či nowcastingu srážek [Novák, 2004]. Obě metody, označené COTREC a ALADIN, se neomezují pouze na identifikaci a předpověď konvektivních buněk, ale slouží k předpovědi radarového echa v celé radarové doméně,. Pro předpovědi je využito produktu maximálních odrazivostí s prostorovým rozlišením 1x1km generovaným každých 10 minut z plných objemových měření.

Metody se liší v způsobu získání pohybového pole použitého v druhém kroku k extrapolaci aktuálního radarového produktu pomocí metody zpětných trajektorií. Metoda COTREC využívá pro určení pohybového pole zkoumání podobnosti mezi aktuálním radarovým snímkem a různě posunutým předchozím snímkem. Z posun, při kterém byla nalezena nejlepší podobností, je poté určen vektor posunutí. Algoritmus probíhá v několika krocích s postupně se zmenšujícími oblastmi ve kterých je hledána podobnost. Je použito několik metod, které zajišťují konzistenci a hladkost výsledného pohybového pole. V druhé metodě ALADIN je využito předpovědní pole hladiny AT 700hPa (zobrazující tlakové pole v přibližné výšce 3 km) z lokálního předpovědního modelu ALADIN, které je pomocí geostrofické aproximace, tj. předpokladu geostrofického proudění v dané hladině, přepočteno na pohybového pole.

Obě metody předpovídají rozložení radiolokační odrazivosti až na 90 minut dopředu s krokem 10 minut. Během předpovědní doby se předpokládá neměnnost pohybového pole, zároveň není uvažováno zesilování či zeslabování radarového echa. Standardně je předpovídáno pole maximálních odrazivostí, ale lze použít například i pole pseudoCAPPI 2km využívané pro odhady srážek.

Vyhodnocení kvality předpovědi provedené porovnáním se skutečně naměřenýma hodnotami ukázalo výrazné zkvalitnění v porovnání s perzistentní předpovědí. Výsledky metody ALADIN a COTREC jsou hodně podobné, COTREC však ukazuje přeci jen trochu lepší výsledky. Kvalita předpovědi s časem klesá u obou metod obdobně. Využitelnost předpovědí závisí na typu srážek. Pro izolovanou konvekci je většinou využitelnost pouze do cca 30 minut, v případě stratiformních srážek či frontální oblačnosti (i konvektivní) je často možné využít i plných 90 minut. Při interpretaci výsledků předpovědí je vždy třeba zkušeného meteorologa.

Předpovědi jsou v ČHMÚ zatím operativně využívá pouze kvalitativně. Hydrologické aplikace nowcastingu intenzit srážek byly prozatím zkoušeny pouze pro případové studie přívalových povodní na Hodonínce (Blanensko, červenec 2002) a ve Sloupu (opět Blanensko, květen 2003). První studie ukázaly, že přes zřejmá omezení daná nelinearitou vývoje konvektivní oblačnosti jsou tyto extrapolační procedury částečně využitelné a mohly by se v budoucnu stát součástí srážkového vstupu do modelových hydrologických výpočtů.



Obr. 7.Ukázka předpovědi radarového echa metodou COTREC. Horní dva obrázky zobrazují vstupní data pro předpověď (z nich je počítáno pohybové pole), vlevo dole je znázorněna 60ti minutová předpověď společně s vypočteným pohybovým polem, vpravo dole je znázorněn skutečně naměřený radarový snímek pro dobu předpovědi.

Fig. 7. Example of COTREC radar echo prediction. Top figures show input data for COTREC method (measurements used for motion wind field calculation), left bottom figure show 60-min prediction of radar echo and calculated motion wind field, right bottom figure show true measured radar image for time of prediction.

ZÁVĚR

Meteorologické radary mohou značně přispět k věrnějšímu zobrazení územního rozdělení srážek, ale pro jejich optimální využití je vhodné znát nebo kvalifikovaně odhadovat procesy tvorby srážek, případně další vlivy ovlivňující přesnost radarového měření. Rozhodně není možné doporučit využívání radarových (nebo kombinovaných) odhadů v hydrologii bez alespoň vizuální kontroly výsledků nebo bez srovnání radarových odhadů srážek s dostupnými údaji srážkoměrů. Také by mělo platit, že oba druhy měření či odhadů srážek jsou komplementární a nikoliv konkurenční.

Literatura

Collier, C.G. (1996): Applications of weather radar systems: a guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. Ellis Horwood Limited Publishers. Chichester UK, 408 pp.

Fulton, R., Breidenbach, J., Seo., D.-J., Miller., D., and O'Bannon., T. (1998): The WSR-88D rainfall algorithm,Wea. Forecasting, 13, 377–395.

Gjertsen, U., Šálek, M., Michelson, D. B. (2004): Gauge adjustment of radar-based precipitation estimates. COST Action 717, Use of radar observation in hydrological and NWP models. Review. COST Office, Brussels.

Gray, W.R. and A.W. Seed (2000): The characterisation of orographic rainfall. Meteorol. Appl., **7**, 105-119.

Novák P. (2000): Meteorological Interpretation of Doppler Weather Radar Measurements, Ph.D. Thesis, the Faculty of Mathematics and Physics of the Charles University, Prague, p.89

Novák P., Kráčmar J. (2000): Exploiting 3D volume data from the Czech weather radar networks. 1st European Conference on radar meteorology (ERAD), Bologna, Italy, September 2000, Phys. Chemistry of the Earth, 2000, vol. 25, 1163-1168.

Novák P., Walder J., Kráčmar J. (2002): The First Attempts At The Radar Echo Prediction In The Czech Weather Radar Network, ERAD Publication Series, Vol 1, Delft University of Technology, 18-22 November 2002, ISBN 3-936586-04-7, 55-58

Novak P. (2004): Czech weather radar data utilization for precipitation nowcasting, In: ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, p. 459-463.

Seo., D.-J.: Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data, J. Hydrol., 208, 37–52, 1998b.

Sokol, Z (2003): Utilization of Regression Models for Rainfall Estimates Using Radar-Derived Rainfall Data and Rain Gauge Data. Journal of Hydrology, Vol. 208, p. 37-52.

Sokol, Z, Řezáčová, D. (2001): Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese. Meteorol. Zpr., 54, č. 6, s. 46-56.

Soukalová, E., Březková, L. (2005). Předpovědní hydrologická služba na ČHMÚ Brno. Sborník Hydrologických dnů 2005.

Šálek M., Kráčmar, J. (1997): Odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. Meteorolog. Zpr., 50, č.4, s. 99–109.

Šálek, M., Kráčmar, J., Novák, P., Setvák, M (1997): Využití metod dálkové detekce při povodňových událostech v červenci 1997. Meteorol. Zpr., 50, č. 6, s. 177–178.

Šálek, M, Novák, P., Kráčmar, J. (2002): Údaje metod dálkové detekce během povodní v srpnu roku 2002. Meteorolog. Zpr., 55, č. 6, s. 177–179.

Šálek, M., Cheze J.-L., Handwerker J., Delobbe, L., Uijlenhoet, R. (2004): Radar techniques for identifying precipitation type and estimating quantity of precipitation. Review. COST Office, Brussels.

Šálek, M., Novák, P, Seo, D-J. (2004): Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, 16-20.

Autoři:

Milan Šálek, ČHMÚ, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, Česká republika, salek@chmi.cz

Petr Novák, ČHMÚ, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4, Česká republika, petr_novak@chmi.cz