

# PŘÍVALOVÉ SRÁŽKY V PODHŮŘÍ ORLICKÝCH HOR 22.–23. ČERVENCE 1998 Z HLEDISKA METOD DÁLKOVÉ DETEKCE A VÝSLEDKŮ NUMERICKÝCH MODELŮ

**Torrential rainfalls in the foothills of the Orlické hory Mts. on the 22 and 23 July 1998 from the viewpoint of remote sensing and numerical models results.** The contribution deals with heavy rainfalls which caused flash floods on the 22 and 23 July 1998 in the region of the Orlické hory Mts. foothills. The development of the weather situation and some thermodynamic characteristics of the atmosphere are described by means of objective analyses of the ARPEGE / ALADIN numerical model. The development of thunderstorm cloudiness is documented in more detail with the use of meteorological satellites and particularly meteorological radar information. In the area affected by heavy rainfalls the capability of radar to estimate rainfall amount, the possibility of daily rainfall sum radar estimate adjustment and rainfall estimate by means of combining adjusted radar estimate with rainfall station measurements were demonstrated. On the basis of radar measurements and other information an attempt at explanation of the convective cloudiness development leading to the unusual rainfall accumulation was made.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** déšť přívalový – povodně – detekce dálková – modely numerické

## 1. ÚVOD

Předložený příspěvek navazuje na práci [7], jež se zabývala meteorologickými a hydrologickými aspekty povodně, která se vyskytla v podhůří Orlických hor 22.–25. 7. 1998. Předkládá podrobnější popis povětrnostní situace a vývoje silné konvektivní oblačnosti pomocí analýz numerického modelu ARPEGE/ALADIN a metod dálkové detekce, především zhodnocením informací meteorologického radaru Skalky. Na srážkovém poli z 22. 7. 1998, odvozeném z hodnot srážkoměrů a radarového odhadu, je demonstrována možnost zlepšení operativního odhadu srážek pomocí kombinované informace radar-srážkoměr.

Pomocí výsledků numerických modelů a pozemních pozorování je pro uvedený případ vytvořena hypotéza příčiny vzniku a vývoje bouřek a diskutována předpověditelnost podobných případů silných konvektivních srážek.

V dalším textu se autor bude často odvolávat na zmíněný příspěvek [7], proto by laskavý čtenář měl mít tuto práci k dispozici, včetně barevné přílohy.

## 2. POVĚTRNOSTNÍ SITUACE

### 2.1 Popis vývoje tlakového, teplotního a vlhkostního pole

Vývoj tlakového, teplotního a vlhkostního pole je popsán pomocí objektivních analýz modelu ARPEGE / ALADIN, které jsou uvedeny na obr. 1a – 1c. Na obr. 1a z 22. 7., 00 UTC se nad Čechami rozkládá mělká brázda nižšího tlaku vzduchu, především při zemi a v hladině 850 hPa. V této brázdě je možno analyzovat studenou frontu, oddělující chladný a vlhčí vzduch nad Německem od velmi teplého nad Moravou, východním Rakouskem a Polskem [7]. V tlakové hladině 500 hPa se udržovalo jihozápadní proudění. Během dalších 12 hodin (srov. obr. 1b) se přízemní mělká brázda nižšího tlaku vzduchu vyplňovala a zároveň se nad Polsko rozšiřovalo jádro vyššího tlaku vzduchu. 23. července v 00 UTC (obr. 1c) je možno pozorovat jen nepatrný náznak mělké brázdy nízkého tlaku vzduchu při zemi, která vybíhala z Maďarska a severovýchodního Rakouska nad jižní Moravu.

V poli poměrné vlhkosti v hladině 700 hPa (pravé spodní

části obrázků 1a–c, pole bílé až tmavě šedé barvy) zaznamenáváme postupné přesouvání pásu zvýšené vlhkosti (nad 75 %) z Německa k východu při současném slabém poklesu hodnot poměrné vlhkosti.

Dlužno poznamenat, že dosud popsany vývoj by z hlediska klasické synoptické meteorologie měl vést spíše k postupnému zeslabování srážek, nanejvýše k vývoji bouřek spíše lokálního charakteru, a příliš nenasvědčuje možnosti extrémních přívalových dešťů.

### 2.2 Zhodnocení lability vzduchové hmoty v České republice

Pro rozbor lability vzduchové hmoty v oblasti České republiky byly využity analýzy aerologických výstupů ze stanice Praha-Libuš a Brno i numerické simulace modelu ALADIN / ARPEGE pro oblast Prahy a Pardubicka.

Křivky zvrstvení pro lokalitu Praha-Libuš z termínů 22. 7., 12 UTC a 23. 7., 00 UTC jsou znázorněny na obr. 2a, spolu s numerickou simulací modelu ALADIN pro tutéž lokalitu (obr. 2b). Na obr. 3 je křivka zvrstvení pro stanici Praha-Libuš a pro termín 22. 7. 12 UTC doplněna KKH (pseudo)adiabatou (stavovou křivkou procházející průsečíkem křivky zvrstvení s izogramou vedenou z přízemní teploty rosného bodu). Obrázek 4 v barevné příloze představuje simulaci vývoje zvrstvení ovzduší v oblasti východních Čech (pro modelovou lokalitu Pardubice) pomocí vertikálně časového řezu adiabatické ekvivalentní potenciální teploty a relativní vlhkosti.

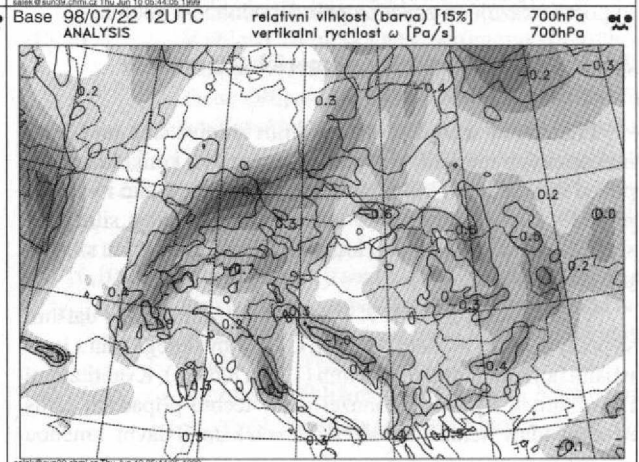
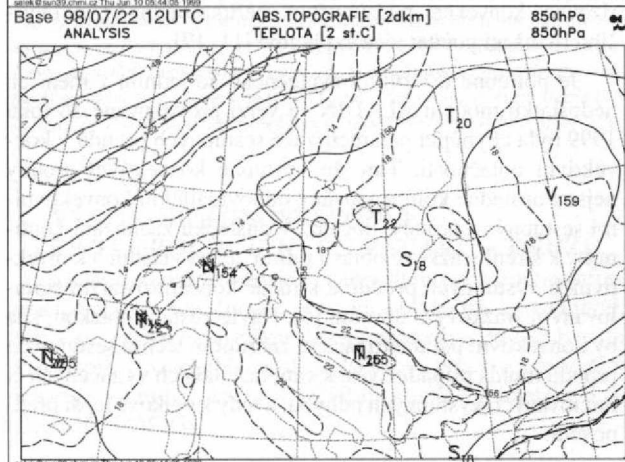
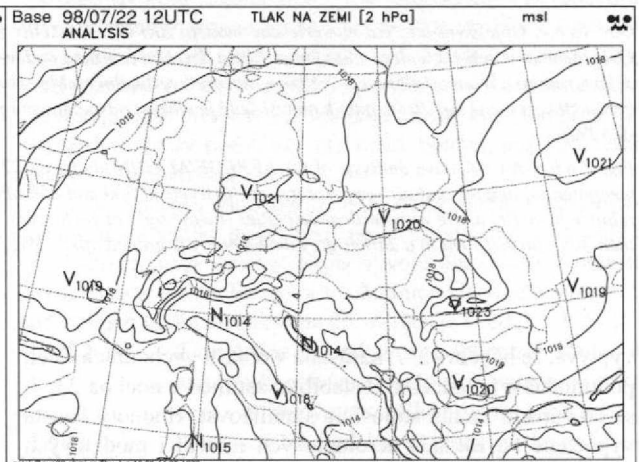
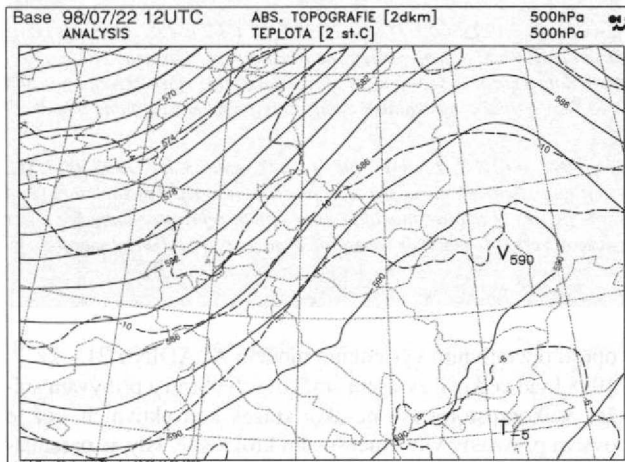
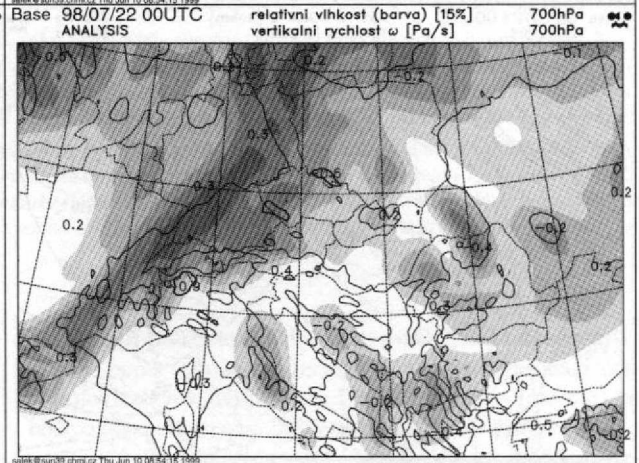
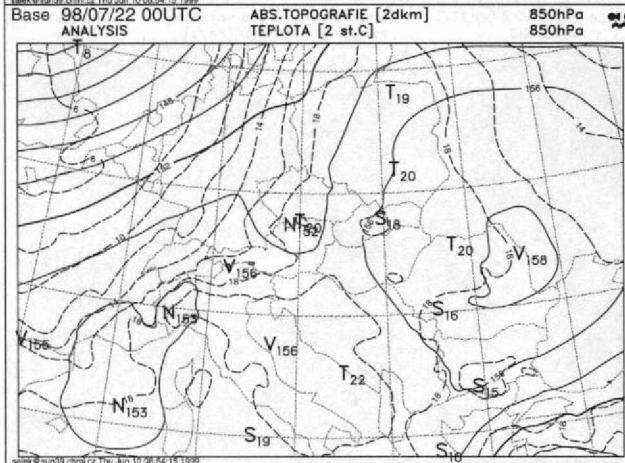
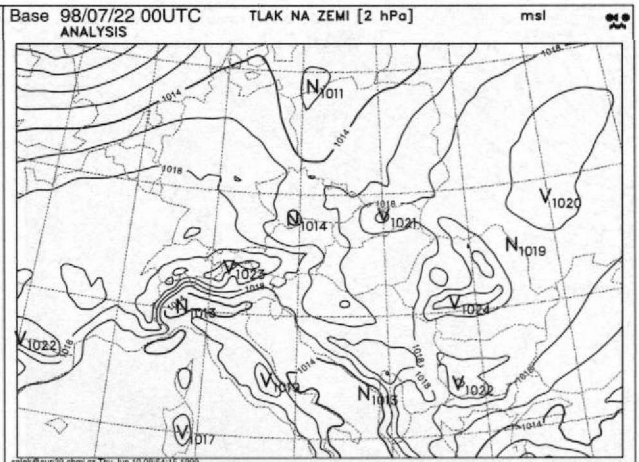
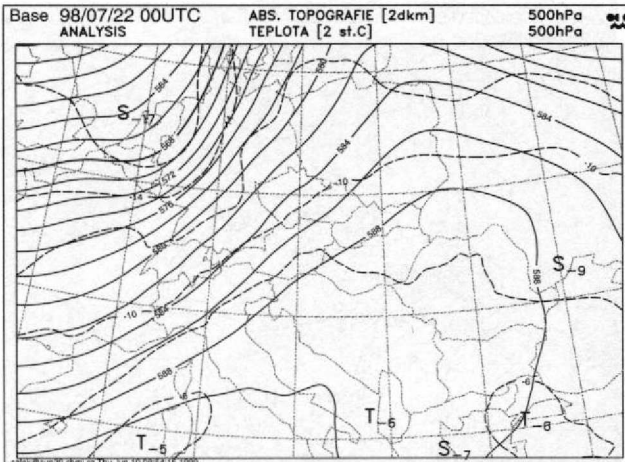
Na obrázku 5 je jsou ukázány hodnoty indexů Fausta pro jednotlivé lokality podle výpočtů modelu ALADIN. Indexy Fausta získané z aerologického měření zobrazuje tab. 1.

Z modelových výpočtů i z údajů aerologických stanic

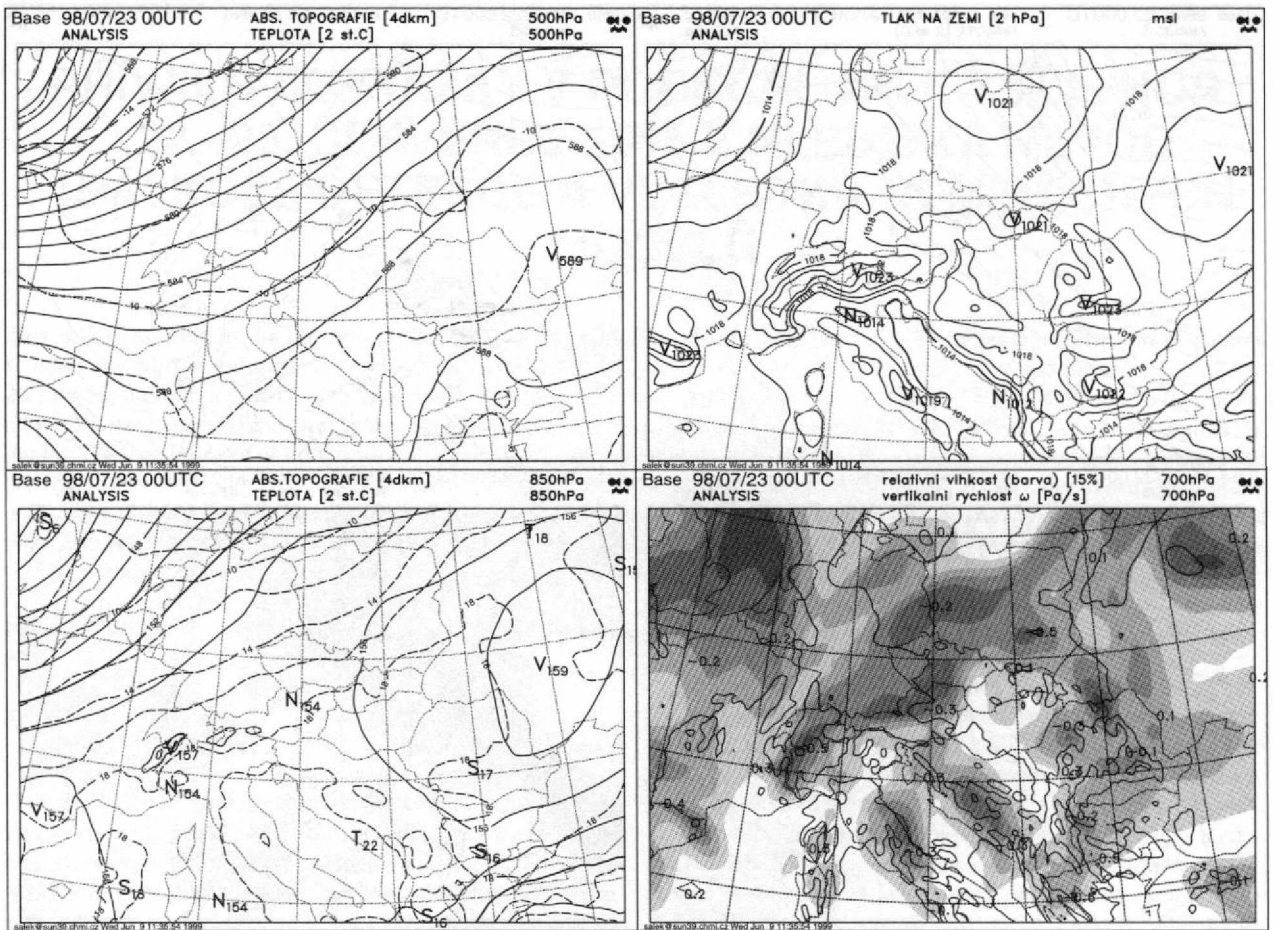
Tab. 1. Indexy Fausta pro stanice Praha-Libuš a Brno, popř. Vídeň.

Table 1. Faust's indices for the stations Praha-Libuš, Brno and Vienna.

Stanice	22. 7., 12 UTC	23. 7., 00 UTC
Praha-Libuš	3	-1
Vídeň, Brno	Vídeň: - 8	Brno: 3







Obr. 1a,b,c. Objektivní analýza numerického modelu ARPEGE/ALADIN z termínů 22.7.1998, 00 UTC, 22.7.1998, 12 UTC a 23.7.1998, 00 UTC: Geopotenciální výšky a teploty v hladinách 500 a 850 hPa (obrázky na levé straně), přízemní tlak přepočtený na hladinu moře (vpravo nahoře u každého termínu) a relativní vlhkost a „velkoprostorové“ vertikální rychlosti (vpravo dole u každého termínu). U obrázků relativní vlhkosti zobrazuje bílá barva vlhkost méně než 30 %, dále k tmavší šedé je vlhkost odstupňovaná po 15 %. V případě vertikálních rychlosti je zvýrazněna izolinie o hodnotě  $-0,5$  Pa/s.

Fig. 1 a,b,c. An objective analysis of the ARPEGE/ALADIN model on 22 July 1998, 00 UTC, 22 July 1998, 12 UTC and 23 July 1998, 00 UTC: Geopotential heights and air temperatures at the levels of 500 and 850 hPa (left-hand figures), mean sea level pressure (top right at each time) and relative humidity along with vertical velocities (below right at each time). At the figures of relative humidity white colour represents humidity lower than 30%, further then to a darker grey the humidity is graded after 15%. In case of vertical velocities an isoline in value of  $-0,5$  Pa/s is set off.

vyplývá, že během 22. 7. narůstala v oblasti východních Čech podmíněná a potenciální instabilita, zatímco v noci na 23. 7. se od západu začala atmosféra stabilizovat. Hodnoty Fausta vypočtené na základě aerologických měření i modelových výpočtů ukazují na značnou pravděpodobnost bouřek.

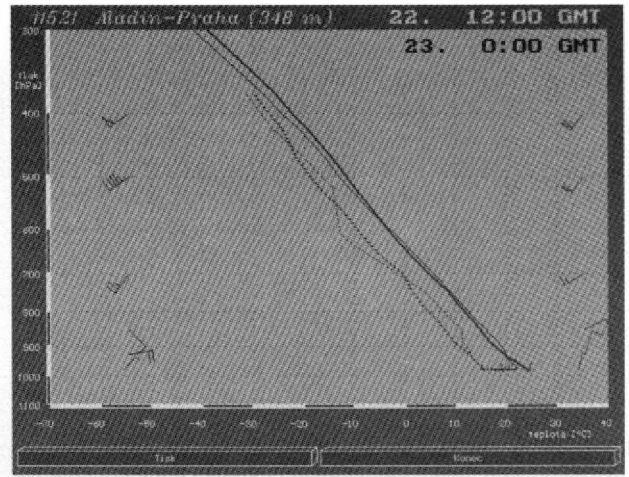
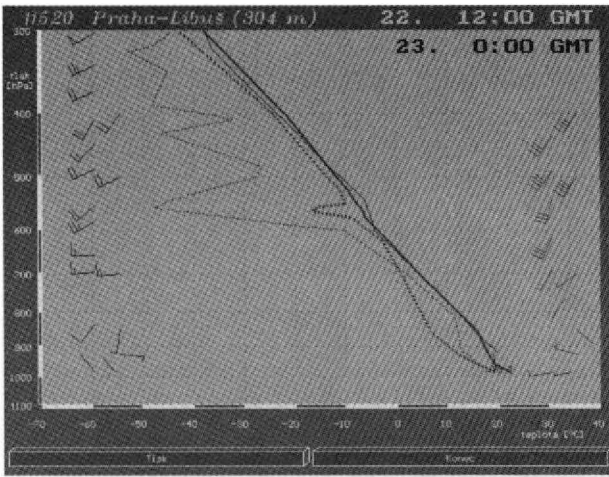
### 2.3 Předpověď srážek z numerických modelů pro východní Čechy

Předpověď srážek je stále jedním z největších problémů numerických modelů, což platí zejména pro konkrétní předpověď srážek konvektivních. To se naplno projevilo i v tomto případě, kdy modely pouze naznačovaly možnost silnějších srážek, ale nebyly schopny určit místo ani čas výskytu silných přívalových srážek [7].

Vývoj počasí 21.–23. 7. 1998 byl ještě simulován dalšími výpočty pomocí modelu ALADIN, který byl integrován s jemnějším horizontálním rozlišením (12,2 a 8,6 km). Kvantitativní i kvalitativní výsledky bohužel ani v těchto případech příliš neodpovídaly reálně naměřeným srážkám. Hlavní změnou

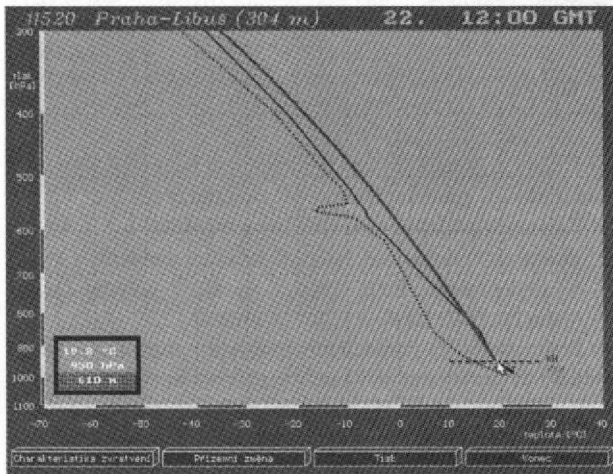
oproti operativním výsledkům modelu ALADIN z 21.–22. 7. 1998 bylo celkové zvětšení srážkových úhrnů a přibývání srážek velkoprostorových na úkor srážek konvektivních, což je ovšem přirozený vliv zmenšování kroku sítě, kdy se parametrizovaná konvekce „podsítového“ měřítka začíná vlivem vyššího rozlišení počítat více explicitně [11, 17].

Je potřebné též zmínit skutečnost, že jedním z menších nedostatků modelu ALADIN ve verzi provozované do roku 1999 byla chybějící parametrizace sestupných proudů v konvektivní oblačnosti. Tím, že výstupné konvektivní proudy nejsou následně kompenzovány odpovídajícími konvektivními sestupnými proudy, dochází v důsledku zachování kontinuity k šíření srážkové oblasti mimo oblast vlastních konvektivních výstupných proudů a k méně koncentrovaným simulovaným srážkovým úhrnům [6]. Navíc zůstává otázkou, zda by konvektivní parametrizace se zahrnutím těchto sestupných proudů mohla případně vést k simulaci dalších vycuněných či iniciovaných výstupných pohybů, a tedy k celkově lepší předpovědi.



Obr. 2 a, b. Zvrstvení atmosféry podle aerologického měření v Praze-Libuši (obr. 2 a) a podle simulace modelu ALADIN (obr. 2 b) pro termíny 22. 7. 1998, 12 UTC a 23. 7. 1998, 00 UTC (silnější křivky a vítr na pravé straně obrázku se vztahují k termínu 12 UTC). Přestože numerický model se skutečnosti blíží pouze částečně, na obou obrázcích je patrná tendence k částečné labilizaci (oteplování v nižších hladinách a ochlazování ve vyšších vrstvách atmosféry, v případě skutečného aerologického výstupu v Praze-Libuši částečně kompenzovaného „vysoušením“ vzduchu ve vrstvě 600-400 hPa).

Fig. 2 a,b. Atmospheric stratification according to the aerological measurement in Praha-Libuš (Fig.2 a) and according to the ALADIN model simulation (Fig.2 b) for 22 July 1998, 12 UTC and 23 July 1998, 00 UTC (thicker curves and wind on the right side of the figure relate to the time 12 UTC). Although the numerical model approaches to the reality only partly, at both the figures the tendency to a partial labilization is evident (warming at lower levels and cooling at higher layers of the atmosphere, in case of the actual aerological output in Praha-Libuš partially compensated by “drying” of the air in the layer of 400-600 hPa).



Obr. 3. Zvrstvení atmosféry podle aerologického měření v Praze-Libuši 22. 7. 1998, 12 UTC se stavovou křivkou. Při použití metody částice je atmosféra podmíněně instabilní, teplota volné konvekce je 22 °C (pro překonání „zadržné“ stabilnější vrstvičky 950-800 hPa je nutné dosažení teploty 24 °C).

Fig. 3. Stratification of the atmosphere according to the aerological measurement in Praha-Libuš on 22 July 1998, 12 UTC with a state curve. Using a particle method the atmosphere is conditionally unstable, the temperature of the free convection is 22 °C (for overcoming of more stable little layer of 950-800 hPa is necessary to reach the temperature of 24 °C).

### 3. VÝVOJ OBLAČNOSTI PODLE METEOROLOGICKÝCH RADARŮ A DRUŽIC

Meteorologický radar je nenahraditelným zdrojem informací o vývoji oblačnosti, zejména oblačnosti konvektivní, která se vyznačuje velkou časoprostorovou proměnlivostí. Pro popis vývoje oblačnosti byly proto použity především informace z radiolokační sítě ČHMÚ, doplněné obrázky družice METEOSAT.

#### 3.1 Vývoj bouřkové oblačnosti podle pole odrazivosti

Pro popis vývoje oblačnosti byly využity informace meteorologických radiolokátorů Libuš a Skalky. Tato část se bude odkazovat na obr. 17 (barevnou přílohu) příspěvku [7].

Dále bude používán termín „bouřkový pás“ (překlad anglického termínu „squall line“) namísto českého ekvivalentu čára instability; pojem bouřkový pás lépe vystihuje liniovou organizaci bouřek v mezoměřítku než termín čára instability, který se užívá spíše v měřítku synoptickém (čára instability navozuje spíše představu protáhlého území, kde jsou příznivé termodynamické podmínky pro vznik bouřek, než konkrétní pás již aktivních bouřek).

Z pole maximálních odrazivostí, získávaného z radiolokátorů Libuš a Skalky po 20, resp. po 10 minutách, byl vytvořen následující, spíše stručný popis vývoje oblačnosti v oblasti Českomoravské vrchoviny a východních Čech během 22. 7. od ranních hodin do rána dne 23. 7. (čas je uveden v UTC):

- 06–13 Dopoledne se nad severozápadními Čechami udržovala oblačnost spíše slohovitého charakteru s občasnými, nepříliš silnými srážkami.
- 13.20 V oblasti Náchodska se vytváří první bouřková buňka, postupující k severovýchodu.
- 15.10 V oblasti Třebíčska na Českomoravské vrchovině se vytváří izolovaná bouřka. U soutoku Tiché Orlice a Divoké Orlice se začínají tvořit bouřkové buňky, postupující k severovýchodu. Vývoj bouřkových buněk se v této oblasti obnovuje (nové bouřkové buňky vznikly nejméně 3x). Vytváří se pás bouřek od uvedeného soutoku až ke Klodzku a dál do Polska.
- od 16.10 Vývoj bouřek u soutoku Tiché Orlice a Divoké Orlice slabne, nejsilnější bouřky jsou podle radiolokační odrazivosti nad Orlickými horami; bouřka nad Třebíčskem se rozpadá.
- od 17.30 V oblasti přibližně mezi Čáslaví a Náchodem se vyvíjí mnoho bouřkových buněk, které vy-



tváří bouřkový pás přesunující se zvolna k severovýchodu [7, obr. 17].

21.00 Ohnisko vzniku nových bouřkových buněk na jižní straně bouřkového pásu se opět dostalo k soutoku Tiché Orlice a Divoké Orlice a k oblasti kolem Hradce Králové, znovu se vyvíjí nový pás bouřek kolem linie Čáslav-Náchod.

22.10 Kvazistacionární bouřkový pás se udržuje v oblasti kolem spojnice Čáslav-Dobruška-Klodzko a dál na severovýchod; jiný komplex bouřek se blíží od rakouského města Linz k Novohradským horám. Podle radarového odhadu (viz dále) je celková intenzita srážek blízká svému maximu.

23.19 Bouřky postupující přes Novohradské hory k severovýchodu se rozpadají, zbytek jejich sestupných proudů zřejmě vyvolávají vznik dalších bouřkových buněk v oblasti mezi Polabskou nížinou a Sázavou. Bouřkový pás postupuje k severovýchodu nad Orlické hory a oblast Klodzka.

01.00–02.00 Další „explozivní“ vývoj mnoha bouřkových buněk nad severozápadní částí Českomoravské vrchoviny je pravděpodobně částečně vyvolán zánikem bouřkového komplexu postupujícího od Novohradských hor. Pás bouřek, položený zhruba podél spojnice Humpolec-Orlické hory, se částečně rozšiřuje, kromě bouřkových buněk se vyskytuje ve stále větším měřítku i vrstevnatá oblačnost, charakterizovaná homogennější strukturou, vzniklá zřejmě spojením horních částí bouřkových mraků.

od 4.00 Odrazivost bouřkových buněk zvolna klesá, slábnoucí bouřkový pás se přesouvá k severovýchodu do oblasti Králického Sněžníku a Jeseníků.

### 3.2 Vývoj bouřkové oblačnosti podle informací družice METEOSAT

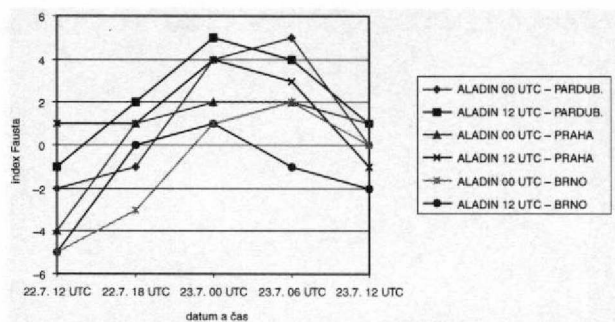
Obrázky střední Evropy v infračerveném spektru záření snímané družicí METEOSAT (obr. 6 a–d) ukazují dvě hlavní oblasti bouřek. Jedna se vyvíjela nad východním Bavorskem a západním Rakouskem a během večera postupně slábla, zatímco příznakem druhé byla rozrůstající se kovadlina nad východními Čechami.

### 4. KONCEPČNÍ MODEL UVEDENÉHO VÝVOJE OBLAČNOSTI

Výše popsaný a na obrázcích dokumentovaný vývoj oblačnosti nejvíce odpovídá koncepčnímu modelu bouřkového pásu („squall line“), jak je prezentován např. v [2]. Velmi neobvyklá je doba vývoje bouřek v jedné oblasti (zhruba 12 hodin), a to v místě přibližně mezi západní částí Orlických hor a Čáslaví. Později se oblast největšího vývoje bouřek protáhla více k jihu nad vrchovinnou část Posázaví. Aktivní bouřkové buňky se vyskytovaly v celém pásu, který zasahoval až do Klodzka i dále na severovýchod.

Uvedené schéma, kdy nové bouřkové buňky navazují na předcházející a vyvíjejí se v téměř stejné oblasti, je popsáno v literatuře (např. [2]) jako tzv. „train effect“ což by se dalo přeložit jako „řetězový efekt“, který je velmi nebezpečný právě z hlediska akumulace srážek a následných přívalových povodní.

Bouřkový komplex vznikl v baroklinním prostředí studené fronty, jejíž čára se udržovala nad Moravou, kde se též



Obr. 5. Index Fausta pro lokality Pardubice, Praha a Brno, získané ze dvou výpočtů modelu ALADIN se vstupními daty z 22.7.1998, 00 UTC a 22.7.1998, 12 UTC. Podle modelových simulací jsou nejlepší podmínky pro vznik bouřek z uvedených míst v lokalitě Pardubice v době 23.7.1998 00 UTC až 06 UTC.

Fig. 5. Faust's index for the locality Pardubice, Praha and Brno obtained from two runs of the ALADIN model with input data from 22 July 1998, 00 UTC and 22 July 1998, 12 UTC. According to the model simulations the best conditions for the thunderstorm formation are in Pardubice in the period of 23 July 1998 from 00 UTC to 06 UTC.

vyskytovala významnější konvergence přízemního větru. Před frontou (zhruba od linie Brno-Králíky na východ) bylo pozorováno během 22. 7. jižní, později východní proudění, za čarou fronty vítr severních směrů. Situaci nad Českou republikou dále charakterizoval výrazný vertikální stříh větru: ve vrstvách od země do ca 3 km převažovalo spíše slabé proudění většinou severních až východních směrů, zatímco ve vyšších hladinách (od hladiny 700 hPa výše, viz obr. 2) se udržovalo jihozápadní proudění.

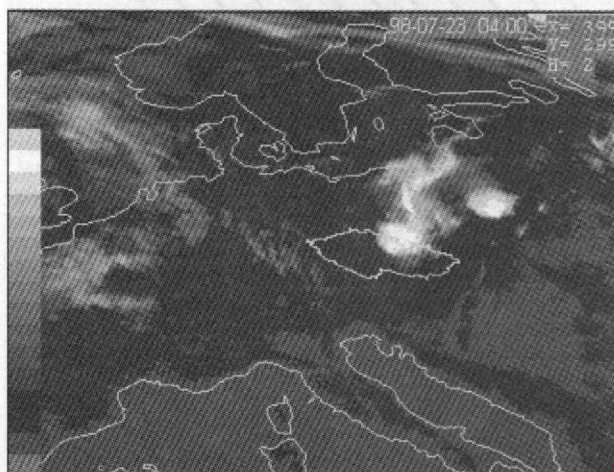
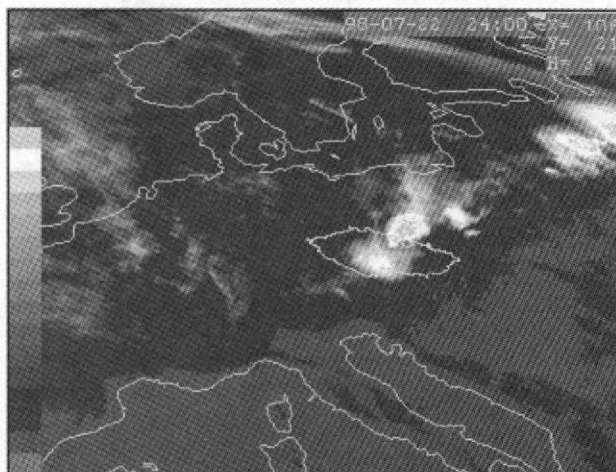
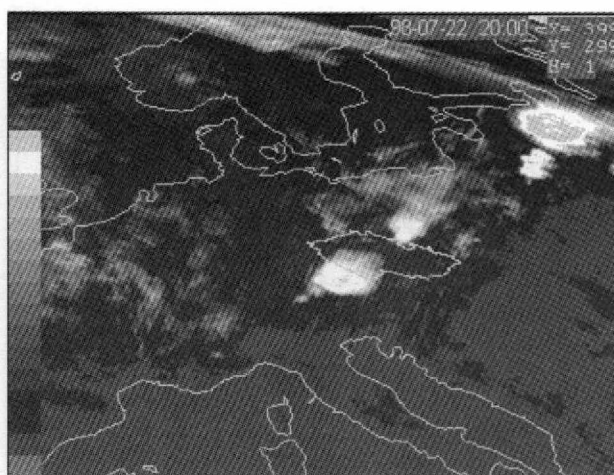
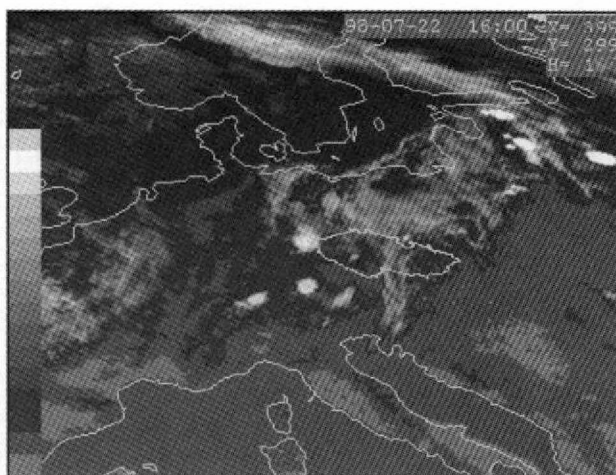
Podle [2] musí výskyt pronikavé (hluboké) konvekce v dané oblasti splňovat následující podmínky:

- 1) Existence podmíněně instability v ovzduší.
- 2) Dostatek vlhkosti ve vystupující částici vzduchu.
- 3) Výskyt procesu, který způsobí výstupné pohyby částice vzduchu až ke hladině volné konvekce.

Podmíněnou (a potenciální) instabilitu atmosféry ukazují obr. 2, 3 a obr. 4, který je v barevné příloze. Spodní část troposféry měla zřejmě i dostatek vlhkosti (podle orientačních výpočtů z hodinových zpráv stanic Pardubice, Pec pod Sněžkou, Ústí nad Orlicí a Svratouch se kondenzační hladina od 14. h UTC pohybovala většinou pod 1 000 m nad výškou stanice). Nejobtížnějším úkolem patrně zůstává najít jednoznačný zdroj výstupných vertikálních pohybů, které vedly k popsanému vývoji bouřek. Pravděpodobně zde nastaly vstoupné pohyby vlivem studené fronty, na jejíž přední straně (nad Moravou) se ještě udržovala advekce teplého vzduchu od jihovýchodu.

Důležitým faktorem byla též interakce bouřek (jak bouřek nad východními Čechami, tak i bouřkového komplexu přicházejícího od Bavorska a Rakouska) s okolním ovzduším nad Čechami. Při rozpadu bouřek mohly sestupné proudy a roztékání chladnějšího vzduchu opět způsobit nucené výstupné pohyby; velmi pravděpodobná je tato interakce mezi 1.–2. h UTC v oblasti Českomoravské vrchoviny.

Podle [18] existují vhodné podmínky k nebezpečným a kvazistacionárním konvektivním systémům v těch místech, kde chladný vzduch z bouřkových sestupných proudů v mezní vrstvě postupuje proti převažujícímu větru v mezní vrstvě, a zároveň je ve vyšších vrstvách atmosféry směr větru shodný s rozléváním chladného vzduchu (viz obr. 7). V opačném případě (opačný směr vektoru „rozlévání“ chladného vzduchu



Obr. 6 a, b, c, d. Infračervený kanál družice METEOSAT z termínů 22. 7., 16, 20 a 24 UTC a 23. 7., 04 UTC.

Fig. 6 a,b,c,d. Infrared channel of the METEOSAT satellite from 22 July 1998, 16, 20 and 24 UTC and 23 July 1998, 04 UTC.

z bouřky a proudění ve vyšších vrstvách atmosféry) se konvektivní výstupné proudy brzy „odtrhují“ od rozhraní chladného vzduchu ze sestupných proudů a okolní teplejší atmosféry, čímž se silná konvekce potlačuje. Přestože neexistují jednoznačné důkazy (chybí výškový profil větru v oblasti postižené přivalovými srážkami), uvedený koncepční model pravděpodobně odpovídá i diskutovanému případu silných srážek v podhůří Orlických hor.

Příspěvek [3] se též zabývá jedním z důležitých aspektů přivalových povodní: Mnoho těchto případů, alespoň na území Spojených států amerických, nastává v nočních hodinách. Je to překvapující z toho důvodu, že ustává ohřívání atmosféry, především její mezní vrstvy, což by mělo zmenšovat instabilitu atmosféry. Významná četnost konvektivních přivalových srážek v nočních hodinách je ale podle [3] vysvětlována následujícím mechanismem: Po západu slunce se rychle stabilizuje především přízemní a mezní vrstva atmosféry, v mezní vrstvě se tím potlačuje vertikální výměna hybnosti, což ve svém důsledku vede nad hranicí mezní vrstvy ke zvýšení rychlosti větru (nočnímu maximu rychlosti větru). V případě proudění teplejšího vzduchu (většinou z jižních směrů) může tedy dojít k zesílení teplé advekce a lokálnímu vzestupu teploty ve výškách těsně nad mezní vrstvou a k postupné labilizaci atmosféry (mimo vlastní mezní vrstvy).

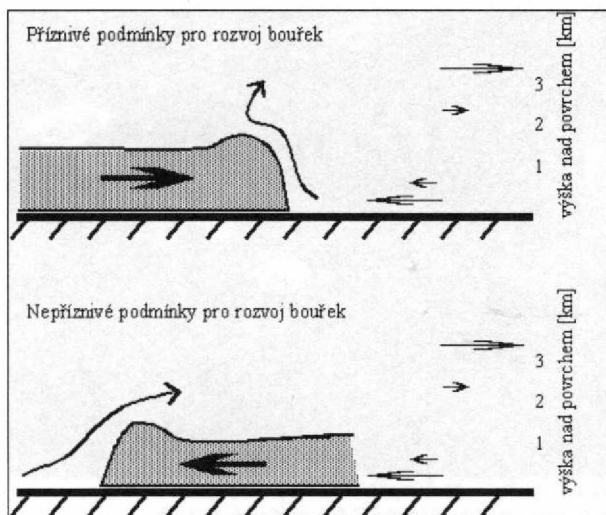
Obr. 2 ukazuje, že mezi 12 h UTC dne 22. 7. a 00 h UTC dne 23. 7. došlo k oteplení vrstvy atmosféry kolem hladiny 910 hPa asi o 2 °C, též simulace modelu ALADIN naznačuje oteplení na hranici mezní vrstvy, ale poněkud výše, kolem hladiny 880 hPa. Zda uvedený jev působil coby spouštěcí mechanismus konvekce, však není možné jednoznačně doložit. Navíc je možno ono oteplení na aerologické stanici Praha–Libuš považovat též za důsledek subsidence a kromě toho zůstávají otázky o reprezentativnosti měření v Praze–Libuši pro oblast východních Čech.

## 5. ODHADY SRÁŽEK Z METEOROLOGICKÉHO RADIOLOKÁTORU

Metody a některé výsledky kvantitativních odhadů srážek meteorologickým radarem včetně případných korekcí těchto odhadů byly zkoumány v rámci mezinárodních projektů RadHyd a COST 75 a byly publikovány např. v [10, 12, 15, 16]. Metodika, popsaná v příspěvku [15], byla použita i k odhadům srážek v diskutovaném případě, zároveň však byla vyzkoušena možnost zlepšení odhadu adjustací radarového odhadu a kombinací informace z meteorologického radaru a srážkoměrných měření.

Pro vyhodnocení úspěšnosti radarového odhadu srážek byla použita měření meteorologického radiolokátoru Skalky,





Obr. 7. Schéma podmínek ve spodní třetině troposféry, které jsou příznivé či naopak nepříznivé pro rozvoj (především déletrvajících) bouřek. Šipky v pravé polovině obrázku znázorňují přibližný profil výškového větru (stejný pro oba případy), silná šipka reprezentuje šíření „rozlévající“ se oblasti chladného vzduchu (vytečkováno), která vznikla z předchozí bouřkové buňky (nebo „squall line“) a vertikálně či šikmo směřující šipka ukazuje přibližně sklon výstupného pohybu. V prvním případě (horní část obrázku) jsou výstupné proudy spíše stacionární vzhledem k „rozlévání“ chladného vzduchu, výstupné konvektivní proudy jsou málo skloněny a mohou se udržovat delší dobu. V druhém případě (dolní část obrázku) dochází k rychlému sklonění až „odtržení“ horní části konvektivního systému od základny ve směru výškového proudění, což má za následek kratší dobu trvání bouřky (podle [18]).

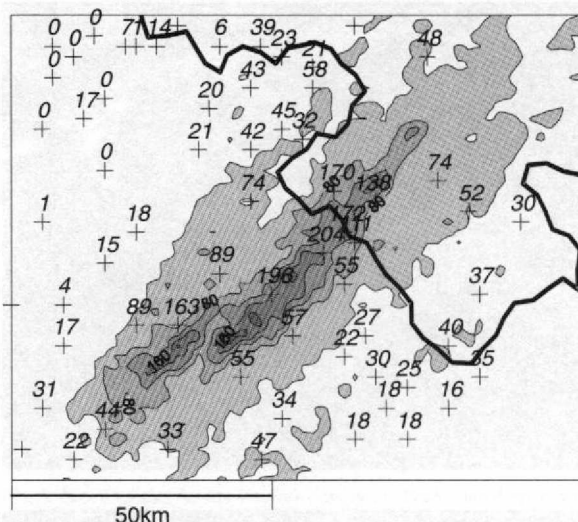
Fig. 7. The scheme of the conditions in the lower third of the troposphere favorable or unfavorable for the development of (mainly longer-lasting) thunderstorms. Arrows in the right half of the figure represent an approximate upper wind profile (the same one for both the cases), a thick arrow represents the motion of density current which is dark shaded. The other arrows represent the updraft tilt. In the favorable situation (upper part of the picture) the updrafts are not too much tilted and the storms move at a speed similar to the gust front. In the unfavorable situation the updraft is more tilted and the storms will move in a direction opposite to the gust front which results in shorter storm duration.

vzdáleného přibližně 100 km od postižené oblasti (94 km od stanice Deštné). Při srovnání odrazivosti ze sloučené radiolokační informace bylo zjištěno, že případný příspěvek radiolokátoru Praha-Libuš je spíše zanedbatelný.

Technické parametry radiolokátoru Skalky jsou uvedeny např. v [8]. Stojí za připomenutí, že se jedná o moderní dopplerovský radar vysílající a přijímající záření s vlnovou délkou přibližně 5 cm, který je umístěn v blízkosti vrcholu Dražanské vrchoviny.

### 5.1 Analýza denních úhrnů srážek srážkoměrných stanic a odhadu z meteorologického radaru

Pro analýzu srážkového pole byly použity denní (24hodinové) úhrny zjištěné pomocí sítě klimatologických stanic a radarový odhad srážek ze stejného období vypočtený na základě Marshall-Palmerova vztahu  $Z = 200 \cdot R^{1.6}$  ( $Z$  [mm<sup>6</sup>/m<sup>3</sup>] – radiolokační odrazivost,  $R$  [mm/h] – intenzita srážek), přičemž vstupním polem odrazivosti byly hodnoty nejvyšší odrazivosti ve vertikálních sloupcích o základně 2 x 2 km a vertikálním rozlišení 1 km. Podrobněji je tato metodika rozebrána v práci [15]. Srážkoměrné úhrny vycházejí z údajů uvedených v [7].



Obr. 9. Odhad denního úhrnu srážek (22.7. 06 UTC – 23.7. 06 UTC) v oblasti Orlických hor získaný pomocí meteorologického radiolokátoru Skalky přepočtením hodnot maximálních odrazivosti na intenzitu deště a následnou integrací a poté adjustovaný pomocí koeficientu  $AF = 0,74$ . Izolinie jsou vytaženy po 40 mm. Hodnoty izolinií jsou popsány menším písmem, hodnoty srážek naměřené na srážkoměrných stanicích kurzívou.

Fig. 9. Estimate of daily rainfall amount (22 July, 06 UTC–23 July, 06 UTC) in the area of the Orlické hory Mts. obtained by means of the Skalky meteorological radar by recalculation of maximum reflectivities values to rainfall intensity and its integration and then adjusted with the aid of  $AF$  coefficient equal to 0,74. Isolines are marked after 40 mm. Isolines values are indicated with smaller numbers, rainfall values measured at rain gauge stations then in italics.

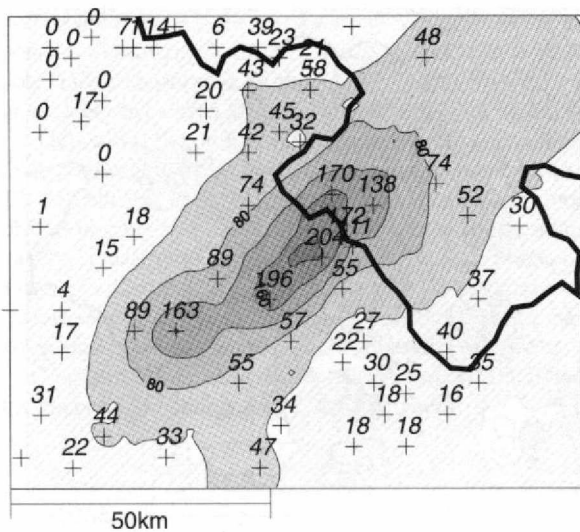
#### 5.1.1 Srovnání radarového odhadu srážek se srážkoměrnými údaji

Obr. 8, uvedený v barevné příloze, ukazuje srovnání odhadu srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky a pole získaného interpolací údajů srážkoměrných stanic geostatistickou metodou zvanou krigování [5]. Přestože uvedený obrázek radarového odhadu srážek má z technických důvodů tu nevýhodu, že nepostihuje podrobněji srážky nad 99 mm, je možno vidět, že radar odhadl území postižené přivalovým deštěm velmi dobře.

Pro další zkoumání možností radarového odhadu srážek byla vybrána oblast o rozloze zhruba 10 000 km<sup>2</sup> (obr. 9–14). V této oblasti se nejprve provedla základní analýza srážkoměrných údajů a příslušných radarových odhadů. Radarový odhad byl přičítán ke stanicím následujícím způsobem: Byl vypočten radarový odhad srážek v pixelu (představujícím územní element rozměru 2 x 2 km), který přísluší dané stanici, a tato hodnota byla ještě průměrována s odhadem srážek v osmi sousedních pixelech.

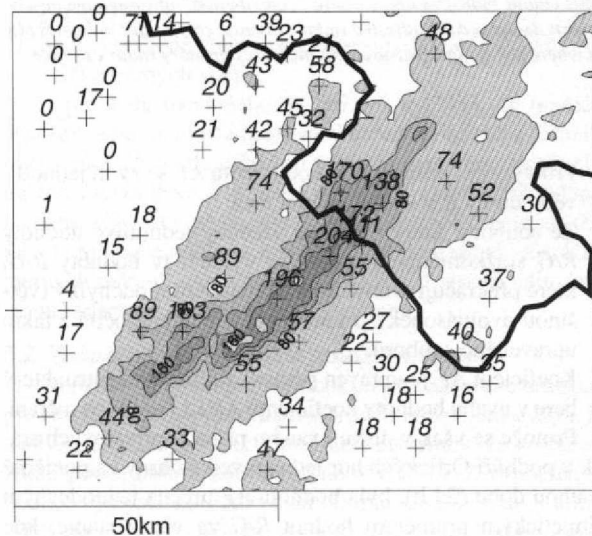
V tabulce 2 jsou uvedena měření srážkoměrných stanic, odpovídající údaje radarového odhadu a podíl  $R/G$  ( $R$  – radarový odhad,  $G$  – údaj srážkoměru). Z údajů srážkoměrných měření a radarových odhadů byl vypočítán podíl obou veličin a jeho aritmetický průměr, který činí 0,74. Z průměrování byly vyřazeny stanice, u kterých alespoň jedna hodnota byla menší než 2 mm, a též polská stanice Kudowa, u které existuje závazné podezření na chybné měření srážkoměrem.

Z tabulky vyplývá, že radar podceňoval srážky přibližně o třetinu, přičemž největší podcenění sledujeme nejčastěji u nejvyšších úhrnů, zejména u hodnot stanic Deštné, Bílý Újezd – Hroška, Běleč nad Orlicí.



Obr. 10. Odhad denního úhrnu srážek (22.7. 06 UTC – 23.7. 06 UTC) v oblasti Orlických hor získaný optimální interpolací hodnot srážkoměrných stanic uvedených v tab. 2 (kromě stanice Kudowa). Izolinie jsou vyznačeny po 40 mm.

Fig. 10. Estimate of daily rainfall amount (22 July 06 UTC–23 July 06 UTC) in the area of the Orlické hory Mts. obtained by means of raingauge stations given in Table 2 (excepting the station Kudowa). Isolines are marked after 40 mm.



Obr. 11. Odhad denního úhrnu srážek (22.7. 06 UTC – 23.7. 06 UTC) získaný jako kombinované pole radiolokační odhad + srážkoměrná měření ze stanic uvedených v tab. 2 (kromě stanice Kudowa). Izolinie jsou vyznačeny po 40 mm.

Fig. 11. Estimate of daily rainfall amount (22 July 06 UTC – 23 July 06 UTC) obtained as a combined field – radar estimate + raingauge measurements of the stations given in Table 2 (excepting the station Kudowa). Isolines are marked after 40 mm.

### 5.1.2 Odhad srážek z kombinovaného pole radar-srážkoměr

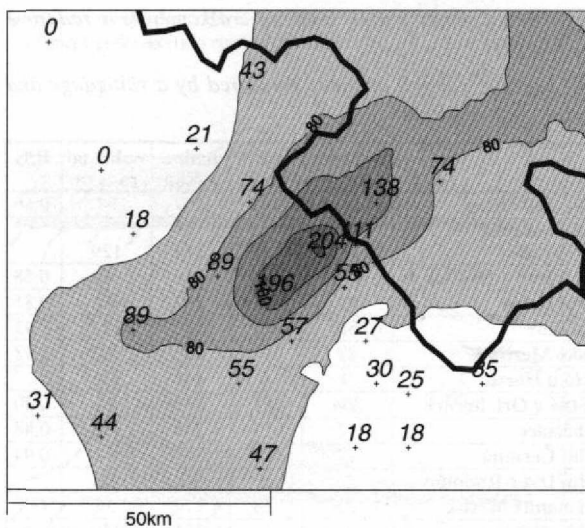
V práci [4] je popsán způsob získávání odhadu srážkového pole z kombinované informace radar-srážkoměr, který se používá v operativní praxi u Národní povětrnostní služby USA. Pomocí uvedeného algoritmu bylo toto pole spočteno i pro případ přívalových srážek na Rychnovsku, přičemž byl uvedený způsob výpočtu vyzkoušen i s různým počtem uvažovaných stanic.

Tab. 2. Denní úhrny srážek změřené srážkoměrem a radarové odhady srážek.

Table 2. Daily rainfall amounts measured by a raingauge and radar rainfall estimates.

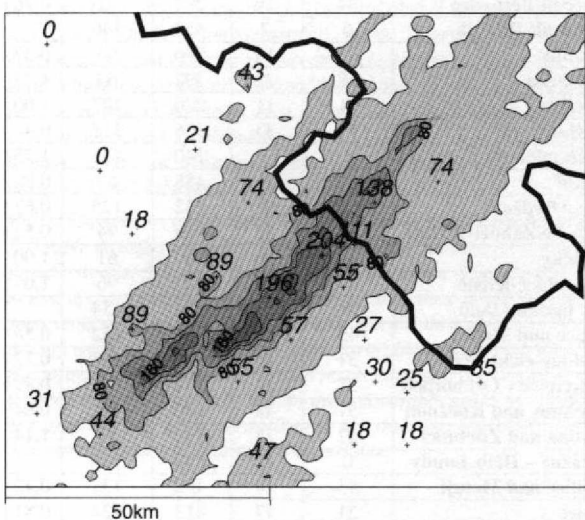
	srážkom. [mm]	radar [mm]	nadm. výška	vzdál. od radaru	R/G
Běleč nad Orlicí	163	107	247	97	0.66
Bílá Třemešná – přehrada	0	4	322	129	
Bílý Újezd – Hroška	196	114	319	91	0.58
Borohrádek	55	47	252	84	0.85
Broumov	58	26	405	127	0.45
České Meziříčí	89	47	255	103	0.53
Čistá u Horek	0	0	445	145	
Deštné v Orli. horách	204	82	635	94	0.40
Dobřenice	17	15	230	111	0.88
Dolní Čermná	18	17	394	57	0.94
Dolní Dvůr-Rudolfov	0	0	610	151	
Heřmanův Městec	22	22	275	95	1.00
Holovousy	1	1	321	130	
Horní Maršov	7	3	570	148	0.43
Hoříněves	15	16	271	116	1.07
Hostinné	17	1	390	141	
Hradec Králové-OBS	89	45	278	103	0.51
Hrochův Týnec	33	36	228	81	1.09
Hronov-Zbečnick	42	28	378	119	0.67
Choceň-Běstovice	34	26	295	71	0.76
Javorník-Rudník	0	2	455	140	
Králíky	35	13	586	64	0.37
Letohrad	18	22	392	63	1.22
Litošice	11	11	270	107	1.00
Náchod	74	33	336	112	0.45
Nechanice	4	7	240	117	1.75
Nekoř	25	23	488	65	0.92
Nový Bydžov	3	2	232	125	0.67
Orlické Záhoří-Trčkov	111	58	759	94	0.52
Orlíčky	16	16	600	61	1.00
Pardubice-letišťe	44	46	225	96	1.05
Pec pod Sněžkou	0	0	816	154	
Police nad Metují	45	25	446	122	0.56
Přelouč-elektřárna	31	16	209	108	0.52
Rokytnice v Orli.horách	27	22	572	79	0.81
Rychnov nad Kněžnou	57	48	279	84	0.84
Statina nad Zdobnicí	22	25	396	77	1.14
Strážné – Hříb. boudy	0	0	840	156	
Teplice nad Metují	43	18	492	131	0.42
Úpice	21	17	413	124	0.81
Ústí nad Orlicí	18	20	402	62	1.11
Velichovky	18	13	320	117	0.72
Vrchlabí	0	0	482	149	
Vysoké Mýto	47	29	278	66	0.62
Zdobnice	55	35	671	87	0.64
Žacléř	14	2	610	145	0.14
Žacléř – Rýchory	1	2	1001	147	
Žamberk	30	25	440	69	0.83
Heřmánkovice	21	22	440	131	1.05
Machovská Lhota	32	27	500	116	0.84
Radvanice – Studénka	20	19	520	131	0.95
Víznov	23	18	480	133	0.78
Bukowka	1	3	515	148	
Duszniki	170	82	570	107	0.48
Chelmsko	6	6	500	140	1.00
Jodłownik	48	27	377	129	0.56
Kłodzko	74	40	356	105	0.54
Kudowa	41	65	406	110	
Ladek	30	19	461	94	0.63
Miedzygorze	37	23	700	82	0.62
Miedzylesie	40	27	440	71	0.68
Miosroszow	39	20	510	137	0.51
Oldrzychowice	52	29	340	96	0.56
Polanica	138	56	584	103	0.41
Walim	26	27	515	135	1.04
Zieleniec	172	81	855	97	0.47





Obr. 12. Odhad plošného rozložení srážek pomocí sítě 25 srážkoměrných stanic.

Fig. 12. Estimate of spatial rainfall distribution by means of the network of 25 rain gauge stations.



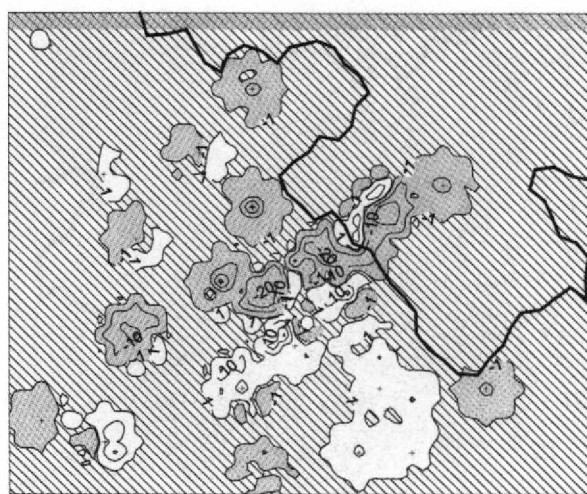
Obr. 13. Odhad denního úhrnu srážek (22.7.06 UTC – 23.7.06 UTC) získaný jako kombinované pole radiolokační odhad + srážkoměrná měření z 25 stanic, jejichž polohy jsou uvedeny na obr. 12.

Fig. 13. Estimate of daily rainfall amount (22 July 06 UTC – 23 July 06 UTC) obtained as a combined field – radar estimate + rain gauge measurements of 25 stations. Their position is given in Fig. 12.

Vzhledem k tomu, že v diskutovaném případě jsou k dispozici pouze denní úhrny a nejedná se o operativní výpočet, byla metodika popsána v příspěvku [4] poněkud zjednodušena.

#### 5.1.2.1 Adjustace radarového odhadu

Podle [4] je možno radarový odhad zlepšit pomocí průměrného koeficientu  $R/G$ , jímž se dělí radarový odhad. Uvedený průměrný koeficient bude dále označován  $AF$  z anglického výrazu „Assessment Factor”. Pro krátkodobější a tedy většinou menší srážky, např. za časový úsek jedné hodiny, však roste nebezpečí malé reprezentativnosti koeficientu  $AF$ , neboť některé chyby měření se mohou projevit výrazněji. K docílení větší reprezentativnosti koeficientu  $AF$  při malých časových úsecích (hodiny) se používají následující postupy:



Obr. 14. Rozdíl adjustovaného radarového odhadu a kombinovaného pole s využitím 25 srážkoměrných stanic (obr. 12). Oblasti se zanedbatelným rozdílem mezi -1 až 1 mm jsou šrafovány, další izolonie jsou po 10 mm. Bílá barva označuje oblasti, kde „příspěvek“ srážkoměrného měření zmenšuje adjustovaný radarový odhad, šedou barvou jsou vyznačena místa, kde srážkoměrné měření původní radarový odhad zvyšuje.

Fig. 14. Difference of an adjusted radar estimate and a combined field using 25 rain gauge stations (see Fig. 12). Areas with a negligible difference between -1 to 1 mm are hatched, other isolines are after 10 mm. White colour indicates areas where “contribution” of rain gauge measurements decreased the adjusted radar estimate, grey colour indicates places where rain gauge measurement increases primary radar estimate.

- 1) Pro výpočet průměrného koeficientu  $AF$  se zvolí jednotlivé hodnoty  $R$  a  $G$  nad určitou mez.
- 2) Ze souboru, který obsahuje všechny jednotlivé hodnoty  $R/G$  srážkoměrných stanic, se vyloučí ty hodnoty  $R/G$ , které překračují určitý násobek standardní odchylky (většinou dvojnásobek), a koeficient  $AF$  se přepočítá z takto upraveného souboru.
- 3) Koeficient  $AF$  je upraven pomocí Kalmanova filtru, který bere v úvahu hodnoty koeficientů  $AF$  i z minulých měření. Protože se však v diskutovaném případě přivalových srážek v podhůří Orlických hor jedná o velké úhrny za poměrně dlouhou dobu (24 h), byla hodnota  $AF$  určena jednoduchým aritmetickým průměrem hodnot  $R/G$  ze všech stanic, kde hodnoty  $R$  i  $G$  byly vyšší než 1 mm (v případě zaokrouhlených hodnot tedy 2 mm a více).

Adjustovaný odhad srážek z meteorologického radiolokátoru je uveden na obr. 9, obr. 10 ukazuje odhad plošného rozložení srážek získaný z bodových hodnot srážkoměrů metodou optimální interpolace [13].

#### 5.1.2.2 Vytvoření odhadu srážek z kombinace hodnot „radar-srážkoměr“

Výpočet odhadu srážek jako kombinované informace „radar – srážkoměr“, podrobně popsany v [4,14], je v hrubém přiblížení podobný optimální interpolaci používané při asimilaci dat v numerických modelech předpovědi počasí: Jako předběžné pole zde slouží radarový odhad, který je „opravován“ bodovým měřením srážkoměrných stanic. Výsledné pole vzniká jako vážený průměr hodnot radarového odhadu a srážkoměrných měření, kde jednotlivé váhy jsou stanovovány na základě vzdálenosti bodu od srážkoměrných stanic a variability

polí srážek získaných jak z meteorologického radaru, tak interpolací srážkoměrných měření. Touto metodou bylo získáno pole srážek, znázorněné na obr. 11. K výpočtu byl využit program, který byl získán přímo od autorů příspěvků [4, 13, 14].

Odhad srážek kombinovaným polem radar-srážkoměr byl ještě testován pouze s využitím údajů 25 stanic (viz obr. 12–14). Na obr. 12 je odhad srážek pouze ze 25 srážkoměrů, obr. 13 ukazuje kombinovanou informaci získanou z adjustovaného radarového odhadu a z zmíněných 25 srážkoměrů a obr. 14 znázorňuje rozdíl kombinace radar-srážkoměr a adjustovaného radaru, tedy „příspěvky“ srážkoměrných měření ke zpřesnění adjustovaného radarového odhadu srážek.

Úspěšnost různých způsobů odhadu pole srážek byla testována pomocí hodnoty *RMSE* dané vztahem

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (G - R_o)_i^2}{n}}$$

kde *G* značí hodnotu srážkoměrného úhrnu na dané stanici a *R<sub>o</sub>* je verifikovaný odhad. Hodnoty *RMSE* byly vypočteny pro nezávislý soubor stanic a následující pole veličiny *R<sub>o</sub>*:

- 1) pole srážek získané původním radarovým odhadem;
- 2) pole srážek získané radarovým odhadem adjustovaným s využitím 25 stanic;
- 3) pole získané formální interpolací pouze s využitím 25 srážkoměrných stanic (s použitím metody optimální interpolace [13]);
- 4) pole vypočtené kombinací radar-srážkoměr s využitím 25 srážkoměrných stanic.

Z přehledu uvedeného na obr. 15 vyplývá, že nejméně úspěšný je původní neadjustovaný radarový odhad a formální interpolace 25 srážkoměrných měření, významně zlepšení je možno zaznamenat v případě adjustace radarového odhadu. Nejlepší výsledky poskytuje odhad srážkového pole získaný jako kombinace adjustovaného radarového odhadu a srážkoměrných měření, nicméně zlepšení již není oproti adjustovanému radarovému odhadu tak významné.

## 5.2 Zasažené plochy podle množství srážek

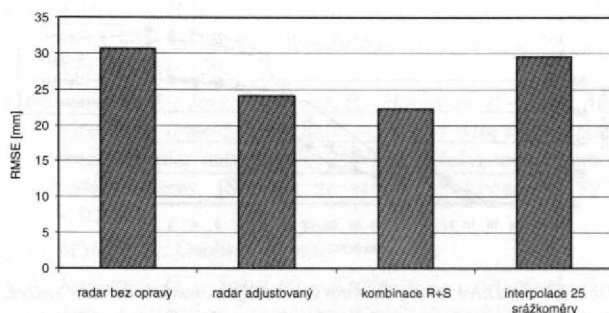
Obrázek 16 ukazuje rozdělení plochy zasažené srážkami pro různé způsoby výpočtu prostorového rozdělení srážek. Při analýze obrázku je však nutno brát do úvahy, že se plochy týkají pouze oblasti zobrazené na obr. 9–14. Z vypočtených hodnot vyplývá, že srážky nad 60 mm zasáhly území kolem 2000 km<sup>2</sup>, zatímco nejintenzivnější srážky nad 140 mm spadly na ploše přibližně 300 km<sup>2</sup>. Celkový objem srážek, který spadl v analyzované oblasti, činil přibližně 400 mil. m<sup>3</sup>.

## 5.3 Hodinové odhady srážek, vertikální profily odrazivosti

Na obr. 17 jsou uvedeny součtové křivky hodinových odhadů srážek meteorologickým radiolokátorem Skalky, obr. 18 ukazuje součtové křivky hodinových odhadů srážek pro lokalitu Deštné, vypočtených z hodnot maximálních odrazivosti 22. 7. 1999 od 15.00 do 24.00 UTC, spolu s hodnotami adjustovanými podle průměrného koeficientu *AF* získaného z 25 stanic (*AF* = 0,69), a s úhrny odečtenými z ombrogramu stanice Deštné.

Z obou obrázků můžeme zjistit, že největší intenzita srážek nastala na diskutovaných stanicích kolem 24 hodin UTC (2 hodin SELČ 23. 7.), přičemž radarový odhad měl tendenci podceňovat právě největší intenzity srážek.

Podceňování intenzit srážek v postižené oblasti je zřejmé



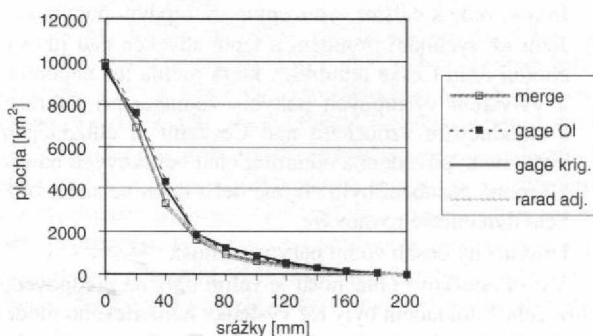
Obr. 15. *RMSE* denních odhadů srážek různými metodami s použitím 25 srážkoměrných stanic a denních hodnot srážek nezávislého souboru ostatních stanic nezahrnutých do interpolačních analýz. Kombinace R+S značí odhad získaný kombinací adjustovaného radarového odhadu a srážkoměrných měření.

Fig. 15. Comparison of *RMSE* rainfall estimate with the aid of various methods using 25 raingauge stations and daily rainfall values of an independent set of other raingauge stations excluded from interpolation analyses. Combination R + S means an estimate obtained by combination of an adjusted radar estimate and raingauge measurements.

spojeno se známými chybami a nedostatky radarového měření, především se vzrůstající výškou nejnižšího radarového paprsku a se zvětšujícím se průměrem paprsku s rostoucí vzdáleností od radaru [1, 15]. Určité chyby mohou vyplývat též z existence výstupných a sestupných proudů v bouřkovém oblaku. Marshall-Palmerův vztah byl vytvořen za předpokladu konstantní pádové rychlosti kapek vzhledem k zemskému povrchu, ale tento předpoklad je v bouřkovém oblaku značně porušen – výstupné konvektivní proudy mohou srážkové elementy ve vzduchu udržovat, zatímco sestupné proudy významně zvyšují rychlost pádu kapek vzhledem k zemskému povrchu [1]. Pouze za delší časový okamžik a na větším území se mohou zmíněné vlivy částečně kompenzovat, výstupný proud nad jednou oblastí může být nahrazen proudem sestupným.

Obr. 19 (barevná příloha) uvádí vývoj vertikálních profilů odrazivosti pro lokalitu Deštné, z něhož je vidět variabilita odpovídající dynamice konvektivního systému. Znalost radarového profilu odrazivosti může být využita k odhadu veličiny zvané VIL (Vertically Integrated Liquid, vertikálně integrovaná voda), která se počítá podle vzorce:

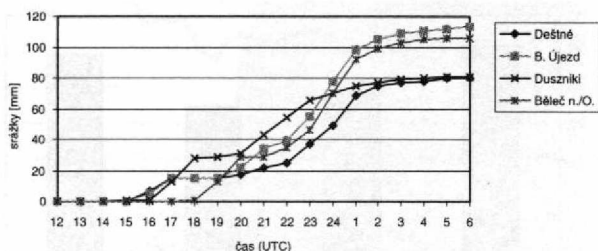
$$VIL = \int_0^h M dz$$



Obr. 16. Rozdělení zasažené plochy (z území zobrazeného na obr. 9–14) podle intervalů srážek a podle způsobu odhadu srážek.

Fig. 16. Distribution of an affected area (the area represented in Fig. 9–14) according to rainfall intervals and according to the way of rainfall estimate.





Obr. 17. Součtové křivky hodinových neadjustovaných odhadů srážek, vypočtených z hodnot maximálních odrazivostí změřených radiolokátorem Skalky od 12.00 UTC 22.7. do 6.00 UTC 23.7. 1999.

Fig. 17. Cumulative curves of hourly non-adjusted rainfall estimates computed from values of maximum reflectivities measured by the Skalky radar from 22 July 12.00 to 23 July 1998 06.00 UTC.

kde  $M = 0.00344 \cdot Z^{4/7}$ ;  $M$  – absolutní vlhkost [ $\text{g}/\text{m}^3$ ],  $Z$  – odrazivost ( $\text{mm}^6 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $z$  – proměnná označující výšku nad povrchem,  $h$  – výška, kde  $M$  se blíží nule (typicky kolem 10 km).

Hodnoty VIL v jednotkách  $\text{kg}/\text{m}^2$  (které číselně odpovídají výšce srážek v mm) se v některých meteorologických službách využívají jako důležitý ukazatel potenciální nebezpečnosti bouřek. Hodnoty VIL se pohybují ve vrstevnaté oblačnosti většinou do  $10 \text{ kg}/\text{m}^2$ , v silných bouřkách v jižní polovině území USA se mohou hodnoty VIL dostat ke 30, na Floridě vzácně k  $50 \text{ kg}/\text{m}^2$  [9]. Časový vývoj této veličiny ukazuje obr. 20.

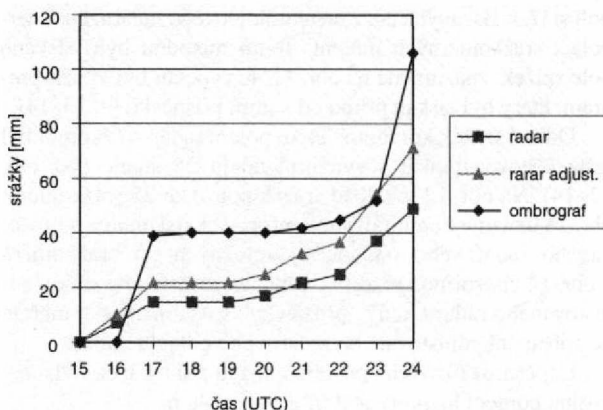
## 6. ZÁVĚR

Silné srážky v podhůří Orlických hor a následně povodně vznikly důsledkem silné konvektivní činnosti v oblasti studené fronty a v podmíněně instabilním vzduchu. Za neobvyklou není možno považovat intenzitu samotných bouřkových buněk, ale jejich opakovaný vývoj ve stejné oblasti, který byl nazván řetězovým efektem (z anglického termínu „train effect“). Řetězový efekt je jedním z nejdůležitějších příznaků výrazné konvektivní oblačnosti, která je nebezpečná z hlediska přívalových povodní.

Příčiny uvedeného vývoje jsou podle názoru autora článku následující:

- 1) Existence podmíněně instability a baroklinního prostředí v oblasti studené fronty.
- 2) Interakce bouřkových buněk s okolní atmosférou, působení sestupných proudů studeného vzduchu v bouřkových buňkách, které vytvářejí „jezero chladnějšího vzduchu“, jehož „roztékání“, podobně jako klasické schéma studené fronty, vede k dalším vynuceným výstupným pohybům.
- 3) Jižní až východní proudění a teplá advekce nad jihovýchodní částí České republiky, která mohla též napomoci k vytváření výstupných pohybů, zejména při interakci s chladnějším vzduchem nad Čechami či chladnějším vzduchem, původem z odumírajících bouřkových buněk. Uvedené působení bylo zřejmě delší dobu ve stavu blízkém dynamické rovnováze.
- 4) Dostatečný obsah vodní páry v ovzduší.

Vývoj bouřkové oblačnosti je velmi obtížně předpověditelný, čehož dokladem byly též výsledky numerického modelu ALADIN i výpočty jiných modelů. Zlepšení předpovědi konvektivních srážek je zřejmě nutno hledat v lepší asimilaci dat. V současné době se zkoumají možnosti zlepšení výsledků numerických modelů pomocí asimilace některých údajů z radarových měření, což má být jedním z cílů výzkumu navrhovaného evropského projektu COST 717.



Obr. 18. Součtové křivky hodinových odhadů srážek pro lokalitu Deštné, vypočtených z hodnot maximálních odrazivostí změřených radiolokátorem Skalky 22.7. 1999 od 15.00 do 24.00 UTC, spolu s hodnotami adjustovanými podle koeficientu AF a 25 stanic ( $AF=0,69$ ) a hodnotami odečtenými z ombrogramu stanice Deštné.

Fig. 18. Cumulative curves of hourly rainfall estimates for the locality Deštné computed from values of maximum reflectivities measured by the Skalky radar on 22 July from 15.00 to 24.00 UTC together with values adjusted according to an average coefficient radar/raingauge (daily amounts) for 25 stations (0,69) and values of the Deštné station raingauge recorder.

Určité zlepšení odhadu vývoje oblačnosti by mohly přinést některé metody velmi krátkodobé předpovědi (nowcasting), založené na extrapolaci pohybu i vývoje oblačnosti zjištěné pomocí meteorologického radiolokátoru. Zde je však nutno upozornit na skutečnost, že pouhá formální extrapolace není schopna řádně zachytit vlastní („vnitřní“) vývoj bouřkové oblačnosti a změny jejího pohybu, tedy ani zmíněný řetězový efekt. Určité zlepšení lze očekávat od užití koncepčních modelů vývoje silných konvektivních systémů.

Údaje z meteorologického radaru se v těchto případech ukazují jako jedna z nejčennějších operativních informací, neboť ukazují aktuální vývoj oblačnosti pomocí pole odrazivosti a poskytují použitelné odhady srážek. Další zpřesnění odhadů srážek lze očekávat pomocí operativní adjustace a kombinovaného informace radar-srážkoměr.

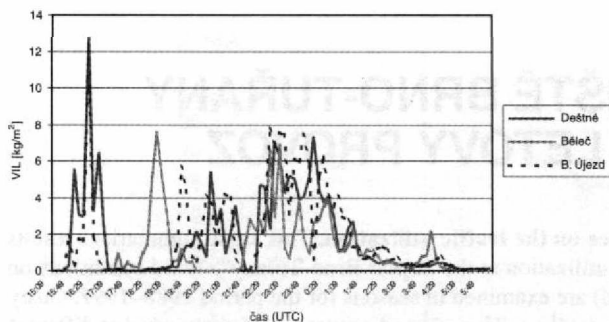
### Poděkování.

Autor článku považuje za milou povinnost poděkovat Petru Novákovi (ČHMÚ, Praha-Libuš) za významnou pomoc při zpracování údajů z meteorologického radiolokátoru Skalky, Richardu Mládkovi (ČHMÚ, Praha-Komořany) za konzultace týkající se numerického modelu ARPEGE/ALADIN, Ladislavu Metelkovi a jeho kolegům z ČHMÚ Hradec Králové za připomínky a pomoc při sběru meteorologických informací a RNDr. Daniele Řezáčové, CSc. (ÚFA), za cenné rady a konzultace.

Kapitoly 5.1.2 – 5.3 vznikly též jako jeden z výsledků studijního pobytu autora u Národní povětrnostní služby USA, jejímž zaměstnancům patří též dík za velmi kolegiální a přátelský postoj.

### Literatura:

- [1] Collier, C.G.: Application of weather radar systems. John Wiley & Sons, 1996. 406 s.
- [2] Doswell III Ch. A. – Brooks, H. A. – Maddox R. A.: Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. Weath. Forec., **11**, 1996, s. 560–581.



Obr. 20. Vertikálně integrovaná voda vypočtená podle měření radiolokátoru Skalky 22. – 23.7. 1998.

Fig. 20. Vertically integrated liquid computed according to the Skalky radar measurements from 22 to 23 July 1998.

- [3] *Doswell III Ch. A.*: Flash Flood-Producing Convective Storms: Current Understanding and Research. Report of the Proceedings (1994) of the U.S.-Spain Workshop on Natural Hazards (Barcelona, Spain, 8–11 June 1993), J. Corominas and K.P. Georgakakos, Eds., pp. 97–107.
- [4] *Fulton, R. – Breindenbach, J. – Seo, D.-J. – Miller, D. – O'Bannon., T.*: The WSR-88D rainfall algorithm. *Weath. Forec.*, **13**, 1998, s. 377–395.
- [5] Golden Software, Inc. – Surfer for Windows. Manuál k programu. Golden, 1997.
- [6] *Geleyn, J. F.*: Osobní sdělení.
- [7] *Hančárová, E. – Metelka, L. – Mrkvica, Z. – Pavlík, J. – Pozler, R. – Šiftař, Z. – Váchal, P. – Veselý, R.*: Katastrofální povodeň v podhůří Orlických hor ve dnech 22.-25. 7. 1998. *Meteorol. Zpr.*, **52**, 1999, č.1, s. 1–12.
- [8] *Havránek, P. – Kráčmar, J.*: Nová meteorologická radiolokační stanice na střední Moravě. *Meteorol. Zpr.*, **49**, 1996, č. 3, s. 81–84.

- [9] *Kitzinger, D.H. – Mc Govern, W. E. – Saffie, R. E.*: The WSR-88D Severe Potential Algorithm. *Weath. Forec.*, **10**, 1995, s. 141–159.
- [10] *Kračmar, J. – Joss, J. – Novák, P. – Havránek, P. – Šálek, M.*: First steps towards quantitative usage of data from Czech weather radar network. In: COST 75 Advanced weather radar systems. [Sborník ze semináře]. Locarno, 1998, s. 91–101.
- [11] *Mládek, R.*: Osobní sdělení.
- [12] *Řezáčová, D. – Sokol, Z. – Kráčmar, J. – Havránek, P. – Joss J.*: Statistical Correction of Radar Based Precipitation Amounts. In: COST 75 Advanced weather radar systems. [Sborník ze semináře]. Locarno, 1998, s. 136–142.
- [13] *Seo., D. J.*: Real-time estimation of rainfall fields using rain gage data under fractional coverage conditions. *J. Hydrol.*, **208**, 1998, s. 25–36.
- [14] *Seo., D. J.*: Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data. *J. Hydrol.*, **208**, 1998, s. 37–52.
- [15] *Šálek, M. – Kráčmar J.*: Odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. *Meteorol. Zpr.*, **50**, 1997, č. 4, s. 99–109.
- [16] *Šálek, M. – Kráčmar, J. – Novák, P. – Setvák, M.*: Využití distančních metod při povodňových událostech v červenci 1997. *Meteorol. Zpr.*, **50**, 1997, č. 6, s. 177–178.
- [17] *Váňa, F.*: Možnosti předpovědi srážek pomocí numerických předpovědních modelů. *Meteorol. Zpr.*, **51**, 1998, č. 1, s. 6–9.
- [18] *Wilson, J. W. – Crook, N. A. – Mueller, C. K. – Sun, J. – Dixon, M.*: Nowcasting Thunderstorms: A Status Report. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 1998, s. 2079–2099.

Lektorka RNDR. D. Řezáčová, CSc., rukopis odevzdán v září 1999.