

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

<i>Petr Zacharov – Milan Šálek – Petr Novák:</i> Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek	157
<i>Radan Huth – Lucie Pokorná:</i> Trendy jedenácti klimatických prvků v období 1961–1998 v České republice	168
<i>Michal Bařka:</i> Algoritmus pro nalezení optimální Lambertovy mapy pro předpovědní model na omezené oblasti	179
Informace – Recenze	183

ROČNÍK 57 – 2004 – ČÍSLO 6

Petr Zacharov – Milan Šálek – Petr Novák:

Comparison of different methods for estimating precipitation based on radar
and rain gauge measurements 157

Radan Huth – Lucie Pokorná:

Trends in eleven climatic elements in the Czech Republic in the period 1961–1998 168

Michal Bařka:

Optimum choice of Lambert's chart algorithm for limited area forecast model 179

Information – Reviews 183

Meteorologické zprávy, časopis pro odbornou veřejnost ● Vydává Český hydrometeorologický ústav ● Redakce: Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, telefon 244 032 722, 244 032 725, fax 244 032 721, e-mail: horky@chmi.cz ● Řídí vedoucí redaktor RNDr. Luboš Němec, redaktor Mgr. Zdeněk Horký ● Redakční rada: Prof. RNDr. Jan Bednář, CSc., Ing. František Hudec, CSc., RNDr. Karel Krška, CSc., RNDr. Jan Sulan, RNDr. Daniela Řezáčová, CSc., RNDr. Jan Strachota, RNDr. František Šopko, RNDr. Karel Vaníček, CSc., RNDr. Helena Vondráčková, CSc. ● Za odborný obsah podepsaných článků odpovídají autoři. Proti dalšímu otiskování, uvede-li se původ a autor, není námitek ● Sazba a tisk: 3P s.r.o. ● Rozšiřuje a-informace o předplatném podává a objednávky přijímá Český hydrometeorologický ústav, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany; Offers for Meteorological Bulletin arranges ČHMÚ, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, Czech Republic. Annual subscription is 42,- USD for 6 issues ● Ročně vychází 6 čísel, cena jednotlivého čísla 20,- Kč, roční předplatné 180,- Kč včetně poštovného, do zahraničí 42,- USD. Reg. číslo MK ČR E 5107.
ISSN 0026 – 1173

Petr Zacharov (Ústav fyziky atmosféry AV ČR) – Milan Šálek – Petr Novák (ČHMÚ)

POROVNÁNÍ RŮZNÝCH METOD VYUŽÍVAJÍCÍCH RADAROVÁ A SRÁŽKOMĚRNÁ MĚŘENÍ PRO ODHAD SRÁŽEK

Comparison of different methods for estimating precipitation based on radar and rain gauge measurements. The paper presents a comparison of the quality of different methods for estimating precipitation from radar measurements of reflectivity. The approaches can be categorised into two groups: methods using radar data only, and what are referred to as adjustment methods, which use, in addition, readings from the rain gauge network. In addition to simple adjustment methods that correct precipitation estimates by a multiplication constant, two other methods combining radar and precipitation measurements have been used: (i) a method based on the interpolation of the modified ratio method (MOD) and (ii) a method employed at the Czech Hydrometeorological Institute (a procedure developed by Seo [16] and adjusted by Šálek [21, 22]). The comparison is based on daily totals (from 06 UTC to 06 UTC) for a period from April to September 2002 and for both radar stations in the Czech meteorological radar network, CZRAD. For adjusting radar precipitation estimates the authors have used rain gauge data from a reduced network of the rain gauge stations that have been automated and/or that supply their data in a short time from taking the readings (for working purposes, they are referred to as INTER stations by the type of the coded report). The accuracy of the methods has been determined by means of a comparison with independent climate measurements of precipitation. The results have shown that new radar products, CAPPI 2 km and corrected CAPPI 2 km, reduce the dependence of the systematic ratio error on distance and that where radar measurements do not have a large systematic multiplicative error they are more accurate than the products relying on the maximum reflectivity in the vertical column. However, radar estimates may be significantly influenced by a systematic multiplicative error, and therefore it is appropriate to adjust radar precipitation estimates. All the adjustment methods have appreciably improved the accuracy of the initial radar precipitation estimate, with the best results achieved by the MOD method applied to radar estimates derived from corrected reflectivity of CAPPI 2 km.

KLÍČOVÁ SLOVA: meteorologie radiolokační – měření srážkoměrná – metody odhadu atmosférických srážek – vyhodnocení odhadu atmosférických srážek

1. ÚVOD

Data z meteorologických radarů jsou nezbytným zdrojem informací při analýze plošného rozložení srážek. Především v letním období, kdy převládají konvekční srážky, není standardní síť srážkoměrných stanic schopná strukturu srážkových polí postihnout s dostatečnou přesností.

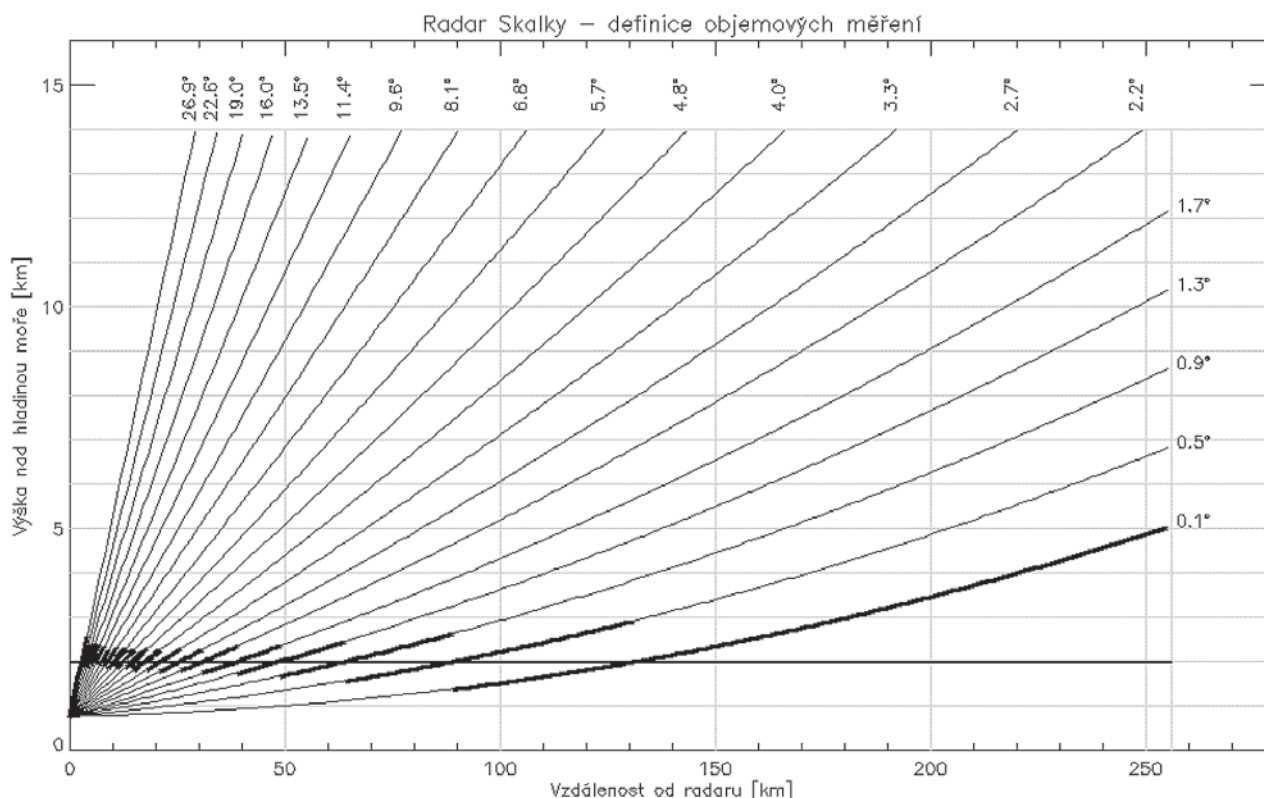
Česká síť meteorologických radarů CZRAD, kterou provozuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), sestává ze dvou moderních dopplerovských radarů Brdy [10] a Skalky [8]. Data z těchto radarů pokrývají území České republiky (ČR) a zasahují i do příhraničních oblastí sousedních států. Měření jsou k dispozici do vzdálenosti 256 km od místa radaru a jednoho objemového měření odrazivosti je dosaženo do 10 minut, což určuje užívanou provozní periodu měření, která se používala pro radarové odhady srážek.

S rozvojem radarové sítě a především díky modernizaci radarů došlo v posledních letech i k vývoji nových rutinně

připravovaných produktů odvozených ze základního objemového měření radarové odrazivosti [13]. Z hlediska produktů přímo využitelných pro odhad plošných srážek jsou v současné době k dispozici čtyři typy dat:

- Maximální odrazivost ve sloupci s horizontálním rozlišením 2 km × 2 km (MAX2)
- Maximální odrazivost ve sloupci s horizontálním rozlišením 1 km × 1 km (MAX1)
- Odrazivost v konstantní výšce (CAPPI) 2 km nad mořem s horizontálním rozlišením 1 km × 1 km (CAP1)
- Odrazivost v konstantní výšce (CAPPI) 2 km nad mořem s opravou pomocí vertikálního profilu odrazivosti a s horizontálním rozlišením 1 km × 1 km (COR1)

Pole maximálních odrazivostí je získáno jako maximální hodnota odrazivosti ve vertikálním sloupci určená ze všech naměřených elevací (hladin PPI) daného objemového měření. Pole odrazivosti v konstantní výšce (CAPPI) je získáno inter-



Obr. 1 Používané elevace objemových měření radaru Skalky v roce 2002 ze zvýrazněnou hladinou 2 km a částmi hladin PPI, z kterých se odrazivost v této hladině počítá.

Fig. 1. Used elevations of the Skalka radar volume measurements in 2002, highlighting the 2 km level and the parts of the PPI levels from which reflectivity at this level is calculated.

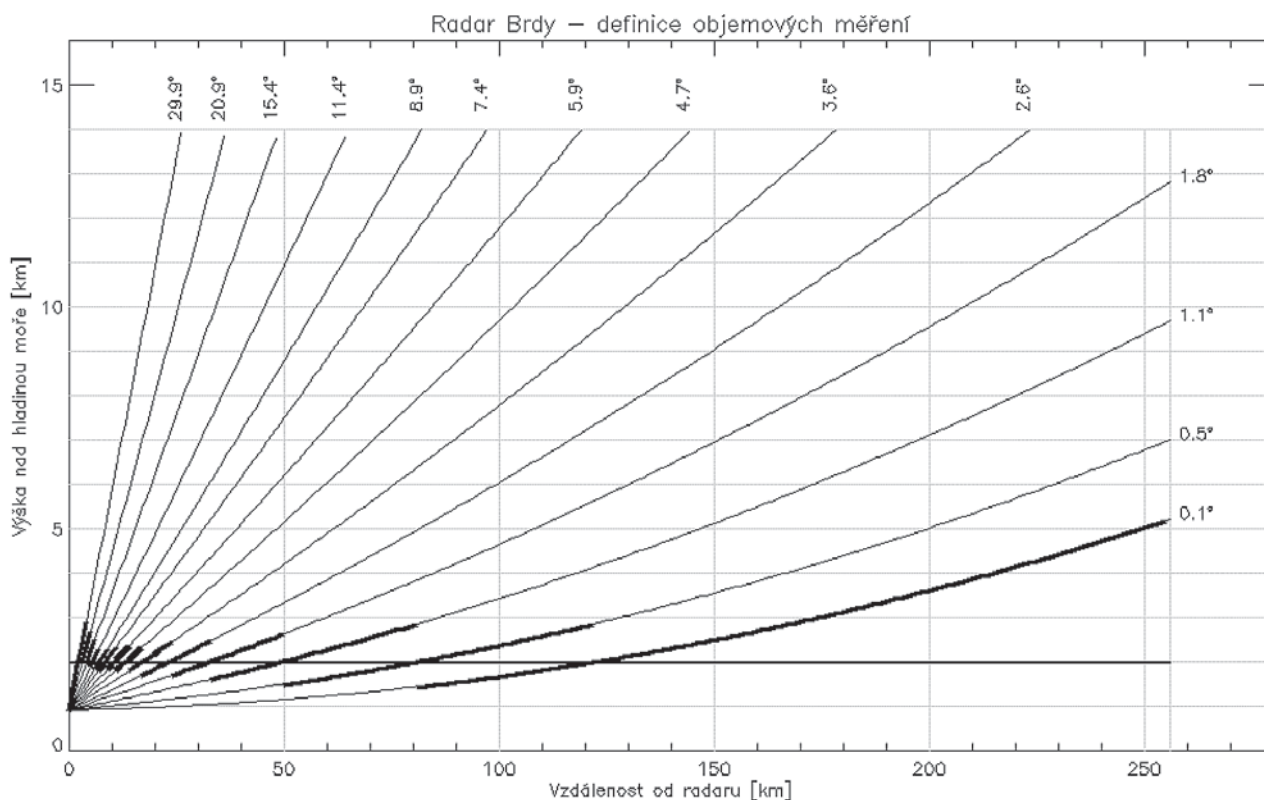
polaci ve vertikálním směru ze sousedních naměřených elevací daného objemového měření. V blízkosti radaru, kde žádná naměřená hladina PPI nedosahuje nad požadovanou výškovou hladinu, se místo interpolace použije odrazivost z nejvyšší měřené elevace. Ve velkých vzdálenostech od radaru, kde naopak veškeré naměřené hladiny PPI přesahují požadovanou výškovou hladinu, se používá odrazivost z nejnižší elevace objemového měření. V případě opravy pomocí vertikálního profilu radarové odrazivosti je odrazivost ve velkých vzdálenostech od radaru extrapolována do požadované výškové hladiny z nejnižší nezastíněné elevace objemového měření. Vertikální profil použitý pro extrapolaci je vypočten z aktuálního objemového měření v oblasti blízko radaru (30–80 km od radaru), kde není problém s neviditelností spodních ani horních partií atmosféry. Jestliže v této oblasti není dostatek radarového echa pro výpočet průměrného profilu, je použit dlouhodobý průměrný měsíční profil [13]. Pro názornost jsou na obrázcích 1 a 2 vyznačeny používané elevace objemových měření radarů Skalky a Brdy v roce 2002 spolu se zvýrazněnou hladinou 2 km a částmi hladin PPI, ze kterých se odrazivost v této hladině počítá.

Výpočet radarového odhadu srážek za určité časové období spočívá v přepočtu radarové odrazivosti Z pomocí tzv. „Marshall-Palmerova“ vztahu $Z = 200 R^{1.6}$ na okamžitou intenzitu srážek a v její následné časové integraci za dané období. Takto vypočtenou hodnotu budeme v následujícím nazývat radarovou srážkou. Radarové srážky jsou počítány v síti 256×256 bodů (bod má rozměr $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$) pro MAX2 a v síti 512×512 bodů (bod má rozměr $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$) pro MAX1, CAPI a COR1. Způsob přepočtu Z na R se liší pro MAX2 a ostatní typy dat. Rozdíl spočívá v tom, že MAX2

je archivován ve škále 16 hodnot (s krokem 4 dBZ), zatímco MAX1, CAPI a COR1 jsou ve škále 255 hodnot (s krokem 0,5 dBZ), a ve způsobu přepočtu na srážky. Pro 1 km data se hodnoty menší než 7 dBZ položí rovny hodnotě 0 mm/h z důvodu potlačení nežádoucího vlivu „nesrážkové“ oblačnosti a hodnoty větší než 55 dBZ hodnotě 99.85 mm/h, což do značné míry eliminuje vliv krup na přeceňování intenzity srážek.

Je třeba poznamenat, že kvalitou hardwarového a softwarového vybavení a kvalitou produktů jsou radary Brdy a Skalky plně srovnatelné s ostatními radary v Evropě [12]. Radarová měření, respektive radarové srážky odvozené přímo z hodnot radarové odrazivosti, však není vhodné bez dalších úprav kvantitativně využít, protože radarová data jsou ovlivněna různými druhy chyb. Jejich rozbořením, kvantifikací a vlivem na přesnost odvozených srážek se v minulosti i současnosti zabývala celá řada prací (např. [1, 2, 3, 9]). Nejdůležitějšími zdroji chyb je růst výšky nejnižšího použitelného paprsku a zároveň rozšiřování radarového paprsku se vzrůstající vzdáleností, zastínění nejnižších elevací terénními překážkami, výskyt zvýšené odrazivosti v zóně tání (bright band), útlum ve srážkách, neodfiltrované pozemní cíle, variabilita aktuálního rozdělení velikosti kapek ovlivňující vztah odrazivost – intenzita srážek a případné nestability technického zařízení radaru. Použití vhodného produktu radarové odrazivosti může některé tyto chyby do značné míry eliminovat.

Další řada prací se zabývá způsobem redukce chyb a postupy využití radarových dat pro odhad srážek. Dva základní postupy jsou stručně vysvětleny v práci [19], včetně odpovídajících citací. Zde je nutné uvést, že jednotlivé postupy a jejich varianty mají své odpůrce a zastánce. V této práci využijeme postup založený na přizpůsobení (adjustaci) srážek



Obr. 2 Totéž jako obr. 1 pro radar Brdy.

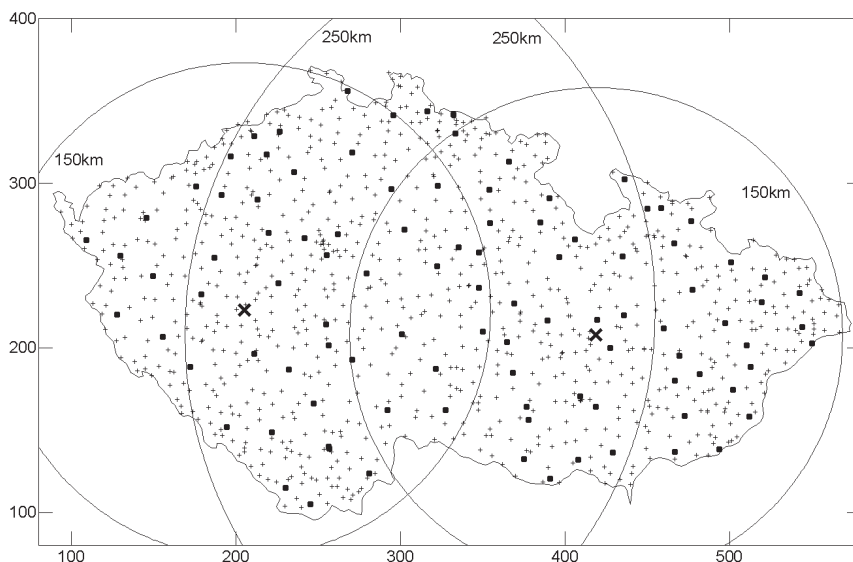
Fig. 2. The same as Fig. 1 for the Brdy radar station.

odvozených z radarové odrazivosti výsledkům pozemního srážkoměrného měření (např. [4, 5, 6, 16]). Často zmiňovanou nevýhodou tohoto postupu je fakt, že oprava srážek odvozených z radarových dat je založena výhradně na statistickém modelování jejich závislosti na hodnotách naměřených na pozemních stanicích. Velmi podstatnou roli zde hraje proměnlivá reprezentativnost pozemního měření srážkoměru (stovky cm^2) a objemové měření radaru v jisté výšce nad povrchem, převedené na plošnou srážku o záchytné ploše 1 km^2 , což je o sedm řádů větší území oproti záchytné ploše srážkoměru. Na druhé straně právě tento postup, tj. modelování vztahu radarový odhad – srážkoměrné měření v daném územním elementu, umožňuje současně redukovat různé druhy chyb radarového odhadu. Další nevýhodou zmíněného postupu je skutečnost, že se spoléhá na pozemní měření, která jsou také zatížena chybami [7]. Lze tedy říci, že výsledkem tohoto postupu by měla být hodnota, kterou by naměřil klasický srážkoměr, kdyby byl v daném místě instalován [16]. Vzhledem k tomu, že v současné době neexistuje reálná možnost, jak přesně naměřit srážku v zadané ploše o typické velikosti stovek km^2 , lze vazbu mezi výsledkem adjustace a klasickým měřením srážek považovat spíše za pozitivní rys, protože se zpracováním hodnot srážkoměrů je dlouholetá zkušenost.

V ČR byly adjustační metody vyvíjeny v Českém hydro-meteorologickém ústavu (ČHMÚ) a v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR (ÚFA) od konce 90. let v rámci projektu RADHYD (Exchange of ideas and development of algorithm for estimating precipitation by radar for operational applications in meteorology and hydrology, 1997–98) podporovaného Swiss National Science Foundation. Ve spolupráci se švýcarskou stranou byly vyvinuty dvě metody založené na aplikaci regresních modelů popisujících vztah mezi srážkou odvozenou z radarových měření a hodnotou naměřenou srážkomě-

ry. První metoda využívá pozemní srážky pouze k odvození parametrů statistického modelu a vstupem při jeho praktické aplikaci jsou pouze radarová data [11]. Druhá metoda využívá při své aplikaci kromě radarových i srážkoměrná měření a byla vyvinuta nejen pro výpočet denních [18], ale i hodinových úhrnů [17]. Další vývoj metod se orientoval na využití aktuálních měření srážek. Šálek v ČHMÚ adaptoval metodu využívanou v Národní meteorologické službě USA [4, 16] na česká data [21] a od roku 2002 jsou denní a později i kratší úhrny srážek pro území ČR operativně počítány a zveřejňovány v rámci ústavní intranetové sítě v reálném čase [22]. Vznikl internetový interaktivní vizualizační systém, který umožňuje uživateli prohlížení a korekci naměřených dat, zobrazuje plošné úhrny vypočtené různými metodami a podává statistické informace o datech. V ÚFA byla vyvinuta obdobná metoda založená na výpočtu tzv. modifikovaného podílu [19]. Tento postup umožňuje výpočet plošných srážek za zadané období a je využíván při verifikaci předpovědi srážek numerickým modelem předpovědi počasí (NWP model) s vysokým rozlišením. Například v práci [14] bylo takto stanovené plošné rozdělení srážek využito k verifikaci předpovědi NWP modelu LM s horizontálním krokem 2.8 km. Práce prokázala, že při verifikaci NWP modelu se nelze spolehnout pouze na srážky odvozené z radarových dat.

V tomto článku je porovnávána přesnost radarových srážek odvozených ze čtyř typů radarových dat (MAX2, MAX1, CAPI, COR1) a zároveň jsou porovnány různé způsoby adjustace těchto srážek s využitím srážkoměrných měření ze stanic INTER. Cílem je stanovit z hlediska přesnosti nejvhodnější radarový produkt a metodu adjustace. Jsou použity dva typy metod adjustace. První typ je velmi jednoduchý a spočívá ve vynásobení radarové srážky konstantou, která je určena na základě aktuálně naměřených srážek na stanicích,



Obr. 3 Rozložení stanic INTER (čtverec), stanic KLIM využitých pro nezávislou verifikaci (křížek) a poloha radarů s vyznačenými vzdálenostmi 150 a 250 km.

Fig. 3. Distribution of INTER stations (square) and KLIM stations used for independent verification (cross), and radar locations showing distances of 150 km and 250 km.

a odpovídajících radarových srážek. Druhý typ metod provádí adjustaci lokálně s využitím okolních srážkoměrných měření. Jsou použity dvě metody: (i) metoda založená na interpolaci tzv. modifikovaného podílu [20] včetně tamtéž popsané kontroly radarových a srážkoměrných dat a (ii) metoda využívaná v ČHMÚ [16, 21, 22]. V práci jsou použity pouze denní úhrny srážek, protože pro kratší sumy není k dispozici dostatečné datové zázemí. Porovnání je provedeno pouze pro teplou polovinu roku. Pro toto období jsou srážky velmi prostorově variabilní a radarová data zlepšují odhady srážek výrazněji než ve studené polovině roku (např. [15]). Porovnání je provedeno odděleně pro radar Skalky a Brdy.

2. POUŽITÁ DATA

Data použitá v této práci byly z teplé poloviny roku 2002, tj. z období od dubna do září, a zahrnují soubory radarových a srážkoměrných měření. Byly použity stejné termíny pro oba radary, které splňovaly podmínku, že během daných 24 hodin (od 06 UTC do 06 UTC) chybělo maximálně jedno radarové měření. Smyslem této podmínky bylo zajistit kvalitní radarová data. Celkem bylo použito 80 termínů, které splňovaly uvedenou podmínku.

Použitá pozemní měření srážek byla ze 788 stanic na území ČR. Měření byla rozdělena na měření ze stanic, které předávají data do meteorologické sítě v reálném čase (stanice INTER, celkem 96 stanic) a zbývající stanice (KLIM, celkem 692 stanic), jejichž měření jsou k dispozici až o několik dnů (týdnů) později po čase měření. Data ze stanic INTER byla použita v adjustační metodě, data KLIM byla použita k verifikaci. Pro účely jak adjustace, tak verifikace byl každé srážkoměrné stanici přiřazen bod radarové oblasti, který geograficky odpovídal poloze stanice. V souboru nedošlo k tomu, aby jednomu bodu odpovídala více než jedna stanice. Poloha radarů a srážkoměrných stanic je zobrazena na obr. 3.

3. METODA ADJUSTACE

K adjustaci radarových srážek byla použita metoda modifikovaného podílu (interpolace byla provedena metodou kri-

ging) a součástí postupu byla kontrola vstupních dat [20]. Výstupy adjustovaných srážek budeme označovat v závislosti na vstupních radarových datech MAX2ADJ, MAX1ADJ, CAP1ADJ a COR1ADJ. Prvním krokem adjustační metody je jednoduchá korekce radarových srážek multiplikativní konstantou, která se vypočte z podílu sumy srážek naměřených na pozemních stanicích a sumy radarových srážek v odpovídajících bodech [20]. Smyslem tohoto kroku je předběžná korekce systematické chyby. Výsledky tohoto kroku jsou označeny MAX2K, MAX1K, CAP1K a COR1K. Metoda vyžaduje užití několika parametrů, jejichž popis je uveden v [20].

Testy prokázaly, že aplikace kontroly radarových i srážkoměrných dat zlepšuje kvalitu odhadu srážky. Při kontrole byly použity následující parametry:

$R_{\max} = 300$ mm, $R_{\text{dif}} = 30$ mm, $q = 2$ a $\varepsilon_d = 5$ mm.

Parametry adjustační metody byly:

- pro MAX2: $\Delta_G = 10$ mm, $\Delta_R = 10$ mm, $\alpha = 0.05$, $\varepsilon = 0$ (α , ε jsou parametry metody kriging)
- pro MAX1, CAP1, COR1: $\Delta_G = 50$ mm, $\Delta_R = 50$ mm, $\alpha = 0.005$, $\varepsilon = 0$ (α , ε jsou parametry metody kriging)

Parametry a) byly převzaty z výše citované práce. Parametry b) byly stanoveny na základě testů. Je třeba poznamenat, že adjustační algoritmus není příliš citlivý na hodnoty parametrů. Zvýšení hodnot Δ_G , Δ_R a snížení α u dat s rozlišením 1 km je důsledkem vyšší plošné variability radarových dat ve srovnání s 2 km daty.

Druhou adjustační metodou (MERGE) byl postup založený na algoritmu, jehož autorem je Seo [16] a který byl upraven Šálkem [21, 22]. Tato metoda byla aplikována pouze na radarové srážky CAPPI 2 km. Metoda se skládá obdobně jako předchozí postup ze dvou kroků. Nejprve se provede adjustace radarových srážek pomocí multiplikativní konstanty (RADK). Na rozdíl od metody modifikovaného podílu se pro výpočet konstanty využívají korespondující srážkoměrná měření a příslušné radarové odhady z pružného klouzavého časového okna o délce nejméně tří srážkově významných dní [22]. Algoritmus spojující radarová a srážkoměrná data využívá postupy optimálního odhadu, který je prováděn jako odhad srážek za podmínky, že v daném místě srážka nastala. Tento postup využívá též některé algoritmy statistického odhadu metodami kriging a cokriging [16].

4. VERIFIKACE METOD ODHADU SRÁŽEK

Při verifikaci byl za referenční hodnotu, vůči níž byl odhad porovnáván, považován výsledek měření srážkoměrné stanice. Přesnost jednotlivých metod byla vyjádřena pomocí střední kvadratické chyby (RMSE), podílové chyby (BIAS) a korelačního koeficientu (CC)

$$RMSE = \frac{1}{n} \left(\sum_{s=1}^n (f_s - y_s)^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{s=1}^n f_s}{\sum_{s=1}^n y_s}, \quad (2)$$

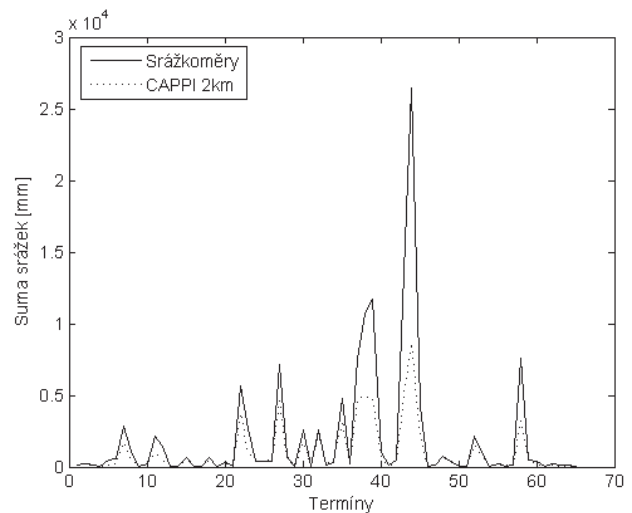
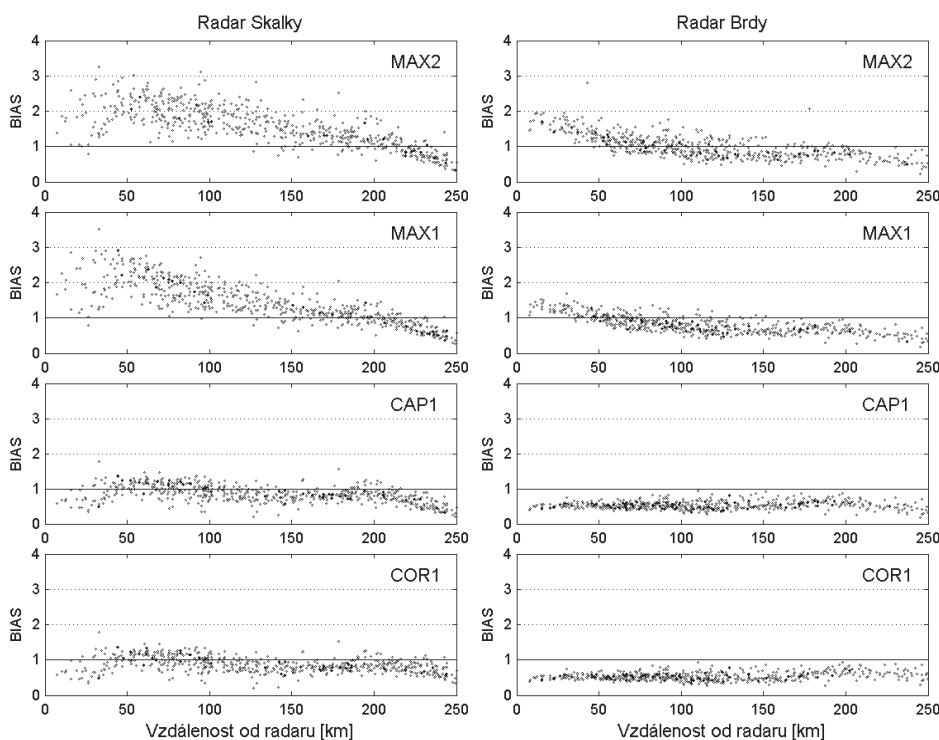
$$CC = \frac{\left(\sum_{s=1}^n f_s - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{s=1}^n y_s - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \right)}{\sqrt{\left(\sum_{s=1}^n f_s - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f_j \right)^2 \left(\sum_{s=1}^n y_s - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \right)^2}}, \quad (3)$$

kde f_s je odhad a y_s je referenční hodnota. Při výpočtu RMSE, BIAS a CC byly použity pouze nezávislé stanice KLIM. Výpočet RMSE a CC byl proveden v závislosti na referenční hodnotě srážky.

Závislost BIAS na vzdálenosti od radaru, která je zobrazena pomocí hodnot BIAS na jednotlivých stanicích, je pro MAX2, MAX1, CAP1 a COR1 na obr. 4. Odhady srážek založené na maximální odrazivosti (MAX1, MAX2) zřetelně nadhodnocují srážky v blízkosti radaru a podhodnocují ve větších vzdálenostech. Technika výpočtu CAP1 tuto závislost potlačuje, ale pouze pro velké vzdálenosti (nad 220 km) systematická odchylka (BIAS) metod CAP1 a COR1 viditelně klesá obdobně jako pro MAX2 a MAX1. Z porovnání BIAS pro radary Brdy a Skalky (obr. 4) vidíme, že se hodnoty zřetelně liší. Radar Brdy výrazněji srážky podhodnocuje.

Obr. 4 Závislost BIAS na vzdálenosti od radaru pro odhady srážek využívající pouze radarová data.

Fig. 4. Relation between BIAS and the distance from the radar station for radar-only precipitation estimates.



Obr. 5 Porovnání sumy srážek naměřených srážkoměry a místně korepondujících radarových odhadů z CAP1 v jednotlivých termínech měření. Jsou zobrazeny jen dny, kdy suma srážek převýšila 10 mm. Údaje se týkají radaru Brdy.

Fig. 5. Comparison of the rain gauge precipitation total and the locally corresponding CAP1 radar estimate at individual measurement times. Only the days on which the precipitation totals exceeded 10 mm are depicted. The data relates to the Brdy radar station.

Zatímco pro radar Skalky je BIAS pro metody CAP1 a COR1 roven 0.90, pro radar Brdy je 0.50 (viz tabulka 1 a 2). Na obr. 5 jsou pro radar Brdy a pro jednotlivé dny zobrazeny sumy srážek vypočtené se srážkoměrů a z odpovídajících radarových srážek CAP1. Je zřejmé, že CAP1 systematicky podceňuje naměřené srážky, přičemž k největšímu podcenění dochází v období s největšími srážkami (6.–8. a 11.–12. srpna). Na druhé straně obr. 5 ukazuje, že radarové srážky mají správný trend. K odstranění těchto multiplikativních chyb, které navíc mívají časový chod, slouží adjustační metody. Schopnost adjustačních metod odstranit závislost BIAS na vzdálenosti od radaru ukazují obr. 6 a tabulky 1–4.

Porovnání přesnosti jednotlivých metod pomocí BIAS, RMSE a CC je shrnuto v tabulkách 1 až 6. V tabulkách 1 až 4 jsou BIAS, RMSE a CC počítány v závislosti na naměřených hodnotách. V tabulce 5 a 6 jsou použita všechna měření ze dnů, kdy alespoň jedna stanice naměřila minimálně 30 mm. Výpočty jsou provedeny odděleně pro oba radary a odhady srážek jsou porovnány s hodnotami srážkoměrů do vzdálenosti 150 a 250 km.

Je třeba poznamenat, že systematické podhodnocování srážek radarem Brdy výrazně ovlivňuje RMSE radarových srážek. Naopak relativně vysoké hodnoty CC potvrzují, že chyba je systematická. Vzhledem k tomu se přede-

Tab. 1 BIAS, RMSE a CC jednotlivých metod pro radar Brdy v závislosti na naměřené hodnotě denního úhrnu srážkoměrem. K verifikaci byly použity údaje ze stanic do vzdálenosti 150 km od radaru. Pro všechny úhrny byly k dispozici 31 473 údaje, pro $G \geq 10$ mm a $G \geq 50$ mm bylo zpracováno 3220, resp. 524 údajů.

Table 1. BIAS, RMSE, and CC of the various methods for the Brdy radar station in relation to the total daily precipitation measured by rain gauges. For verification, data from stations within 150 km from the radar site was used. For all totals, 31,473 pieces of data were available; for $G \geq 10$ mm and $G \geq 50$ mm, 3,220 and 524 pieces of data, respectively, were processed.

Metoda	Vše			$G \geq 10$ mm		$G \geq 50$ mm	
	BIAS	RMSE	CC	RMSE	CC	RMSE	CC
MAX2	1.067	6.463	0.83	18.476	0.62	36.221	0.30
MAX1	0.859	6.488	0.84	19.379	0.64	41.470	0.33
CAP1	0.502	7.969	0.89	24.625	0.75	52.654	0.57
COR1	0.498	7.996	0.88	24.708	0.75	52.794	0.56
MAX2K	1.115	5.721	0.88	16.600	0.73	31.280	0.34
MAX1K	1.079	5.578	0.89	16.308	0.75	30.482	0.37
CAP1K	0.908	4.341	0.93	12.858	0.85	23.779	0.59
COR1K	0.894	4.384	0.93	13.018	0.84	24.272	0.58
MAX2ADJ	0.985	4.057	0.94	11.764	0.86	22.484	0.57
MAX1ADJ	0.992	4.053	0.92	11.748	0.82	21.768	0.59
CAP1ADJ	0.979	3.664	0.95	10.599	0.89	19.216	0.69
COR1ADJ	0.979	3.674	0.95	10.634	0.89	19.294	0.69
MERGE	0.891	4.612	0.93	13.760	0.83	28.630	0.41
RADK	0.752	5.596	0.92	16.927	0.82	35.414	0.59

Tab. 2 Totéž jako tabulka 1 pro radar Skalky. Pro všechny úhrny byly k dispozici 27 122 údaje, pro $G \geq 10$ mm a $G \geq 50$ mm bylo zpracováno 2272, resp. 140 údajů.

Table 2. The same as Table 1 for the Skalky radar site. For all totals, 27,122 pieces of data were available; for $G \geq 10$ mm and $G \geq 50$ mm, 2,272 and 140 pieces of data, respectively, were processed.

Metoda	Vše			$G \geq 10$ mm		$G \geq 50$ mm	
	BIAS	RMSE	CC	RMSE	CC	RMSE	CC
MAX2	1.835	7.287	0.82	20.544	0.50	26.697	0.05
MAX1	1.708	6.523	0.82	18.470	0.50	27.632	0.09
CAP1	0.904	4.424	0.83	14.100	0.54	38.543	0.19
COR1	0.905	4.423	0.83	14.095	0.54	38.479	0.19
MAX2K	1.325	4.386	0.86	12.115	0.66	24.699	0.21
MAX1K	1.341	4.502	0.86	12.523	0.65	24.520	0.20
CAP1K	1.025	3.703	0.88	11.350	0.70	25.938	0.30
COR1K	1.021	3.673	0.89	11.232	0.70	26.178	0.32
MAX2ADJ	0.998	3.183	0.91	9.546	0.78	21.100	0.44
MAX1ADJ	0.994	3.129	0.87	9.369	0.67	20.470	0.32
CAP1ADJ	0.955	3.042	0.92	9.331	0.80	20.032	0.47
COR1ADJ	0.957	3.027	0.92	9.276	0.80	19.838	0.48
MERGE	0.944	3.209	0.92	10.019	0.78	24.795	0.34
RADK	0.878	3.934	0.87	12.579	0.67	32.194	0.32

Tab. 3 BIAS, RMSE a CC jednotlivých metod pro radar Brdy v závislosti na naměřené hodnotě denního úhrnu srážkoměrem. K verifikaci byly použity data ze stanic do vzdálenosti 250 km od radaru. Pro všechny úhrny bylo k dispozici 44 938 údajů, pro $G \geq 10$ mm a $G \geq 50$ mm bylo zpracováno 4345, resp. 594 údajů.

Table 3. BIAS, RMSE, and CC of the various methods for the Brdy radar station in relation to the total daily precipitation measured by rain gauges. For verification, data from stations within 250 km from the radar site was used. For all totals, 44,938 pieces of data were available; for $G \geq 10$ mm and $G \geq 50$ mm, 4,345 and 594 pieces of data, respectively, were processed.

Metoda	Vše			$G \geq 10$ mm		$G \geq 50$ mm	
	BIAS	RMSE	CC	RMSE	CC	RMSE	CC
MAX2	0.986	6.286	0.82	18.583	0.59	39.168	0.28
MAX1	0.799	6.363	0.82	19.529	0.61	44.084	0.30
CAP1	0.514	7.491	0.85	23.674	0.69	53.882	0.53
COR1	0.519	7.505	0.85	23.722	0.69	54.051	0.52
MAX2K	1.027	5.429	0.87	16.197	0.72	33.058	0.34
MAX1K	0.994	5.326	0.88	15.968	0.74	32.207	0.37
CAP1K	0.898	4.346	0.92	12.998	0.83	25.563	0.58
COR1K	0.897	4.411	0.91	13.195	0.82	26.123	0.57
MAX2ADJ	0.975	3.871	0.93	11.466	0.86	22.927	0.61
MAX1ADJ	0.981	3.902	0.89	11.522	0.79	22.553	0.57
CAP1ADJ	0.974	3.612	0.94	10.611	0.88	20.261	0.69
COR1ADJ	0.973	3.621	0.94	10.628	0.88	20.296	0.69
MERGE	0.902	4.438	0.92	13.443	0.82	29.246	0.46
RADK	0.762	5.469	0.89	16.786	0.79	37.150	0.57

vším zaměříme na vyhodnocení metod na datech z radaru Skalky.

Metody CAP1 a COR1 dávají srovnatelné výsledky a uvažujeme-li všechna data, pak jsou zřetelně přesnější než MAX1 a MAX2. Na všech datech je MAX1 o něco přesnější než MAX2. Porovnáme-li RMSE pouze na datech, kdy srážkoměr naměřil alespoň 10 nebo 50 mm, je třeba si uvědomit, že jsou zvýhodněny metody, které nadhodnocují. Fakt, že menší RMSE je pouze důsledkem celkového nadhodnocení srážek, potvrzuje nízká hodnota CC. Proto je například RMSE metody CAP1 větší než RMSE metody MAX1 pro data, kdy srážkoměr naměřil ≥ 50 mm. Zároveň má metoda MAX1 výrazně nižší CC. Je logické, že odhady radaru jsou lepší do vzdálenosti 150 km, než když uvažujeme celou oblast měření do vzdálenosti 250 km.

I jednoduchá metoda adjustace výrazně zlepšuje přesnost odhadů, přičemž relativní zlepšení RMSE narůstá s hodnotou naměřené srážky. Za pozornost stojí, že RADK má horší hodnotu BIAS než jednoduché adjustace jako např. CAP1K. Protože všechny uvažované metody používají všechna dostupná data, není důvod, proč nepoužít propracovanější metody. Proto se při porovnání zaměříme na metody MAX2ADJ, MAX1ADJ, CAP1ADJ, COR1ADJ a MERGE. Tyto metody nejen výrazně omezují systematickou chybu, ale obecně zlepšují odhad srážek, jak potvrzuje nárůst CC. To se týká obou radarů i obou vzdálenostních intervalů. Obecně lze říci, že výsledky CAP1ADJ a COR1ADJ jsou velmi podobné a dávají o trochu přesnější odhady než metody MAX1ADJ a MAX2ADJ. To platí především pro radar Brdy. Pro radar Skalky rozdíl mezi metodami nejsou velké. Pokud uvažujeme významné srážky (≥ 50 mm), pak nejhorší výsledky dosáhla metoda MAX2ADJ. Pro radar Skalky se u metody CAP1ADJ zřetelně projevuje pokles přesnosti pro stanice ve vzdálenosti nad 200 km, kde tato metoda dává nejhorší výsledky. Metoda COR1ADJ tímto nedostatkem netrpí. Je zde třeba poznamenat, že vzhledem k pokrytí našeho území radary a faktu, že pro

tvorbu sloučené informace se využívá pravidlo vyšší hodnoty, není třeba takové vzdálenosti uvažovat. Potřebný dosah radarů Skalky a Brdy zajišťující pokrytí našeho území (i souvisejících hraničních povodí), je totiž přibližně 190 km. Data COR1 by bylo proto vhodné využívat především v případě dlouhodobého výpadku jednoho z radarů

Ze srovnání metod CAPIADJ a MERGE, které využívají stejná data, vyplývá, že odhady CAPIADJ jsou přesnější. Rozdíly v přesnosti narůstají s naměřenou srážkou (tabulky 1–6). Například pro radar Skalky a srážky ≥ 50 mm je RMSE metody CAPIADJ přibližně o 20 % nižší. Zřetelný nárůst je patrný i pro CC, což potvrzuje, že CAPIADJ lépe popisuje charakter pole. Bodové grafy (obr. 7), které zobrazují odhad a naměřenou hodnotu, potvrzují, že MERGE podceňuje vysoké srážky. To neplatí pro CAPIADJ, která i vysoké srážky občas nadhodnocuje. Pokud porovnáme přesnost metod pro jednotlivé dny pomocí rozdílu RMSE (viz obr. 8), pak opět vidíme, že pro deštivější dny je metoda CAPIADJ přesnější, pokud uvažujeme stanice do vzdálenosti 190 km od radaru. Na obr. 8 jsou pro dny s největšími rozdíly v RMSE uvedeny jejich termíny. Z nich je zřejmé, že metoda MERGE dávala velké chyby při odhadu srážek v oblasti radaru Brdy u několika termínů s vysokými srážkami (srpen 2002), což bylo dáno především pomalejší adaptací adjustačního koeficientu na rychlé změny režimu srážek i většími změnami celkového útlumu elektromagnetických vln v rozsáhlé oblasti vydatných srážek. To se projevilo už v prvním kroku procedury MERGE, tj. v adjustaci pomocí klouzavého časového okna tří dnů, jehož výsledkem bylo pole RADK (viz tab. 1–4). Uvedená délka časového okna byla stanovena na základě předběžné validace adjustační metody na hodinových úhrnech.

Plošné rozložení chyb odhadů srážek v teplé polovině roku 2002 pro metody CAPIADJ a MERGE a pro oba radary je zobrazeno na obrázku 9. Pro oblast radaru Brdy je RMSE metody CAPIADJ nižší nebo stejné jako RMSE metody MERGE prakticky na celé oblasti. Pro oblast radaru Skalky dává

Tab. 4 Totéž jako tabulka 3 pro radar Skalky. Pro všechny úhrny byl k dispozici 47 661 údaj, pro $G \geq 10$ mm a $G \geq 50$ mm bylo zpracováno 4425, resp. 533 údajů.

Table 4. The same as Table 3 for the Skalky radar station. For all totals, 47,661 pieces of data were available; for $G \geq 10$ mm and $G \geq 50$ mm, 4,425 and 533 pieces of data, respectively, were processed.

Metoda	Vše			$G \geq 10$ mm		$G \geq 50$ mm	
	BIAS	RMSE	CC	RMSE	CC	RMSE	CC
MAX2	1.439	7.600	0.77	21.778	0.46	37.874	0.15
MAX1	1.301	7.076	0.77	20.677	0.45	40.628	0.14
CAP1	0.811	6.045	0.81	19.064	0.56	45.108	0.24
COR1	0.835	5.904	0.82	18.568	0.58	43.936	0.25
MAX2K	1.061	5.449	0.84	16.184	0.66	36.084	0.23
MAX1K	1.049	5.555	0.83	16.580	0.64	36.757	0.23
CAP1K	0.956	4.921	0.87	15.185	0.73	33.718	0.33
COR1K	0.975	4.719	0.88	14.445	0.75	31.984	0.35
MAX2ADJ	1.005	3.865	0.92	11.636	0.83	23.894	0.50
MAX1ADJ	1.003	3.794	0.93	11.388	0.84	23.447	0.52
CAP1ADJ	0.993	3.834	0.93	11.698	0.84	23.980	0.54
COR1ADJ	0.986	3.735	0.93	11.343	0.85	23.161	0.56
MERGE	0.923	4.052	0.92	12.507	0.82	27.553	0.42
RADK	0.783	5.578	0.85	17.667	0.66	41.504	0.30

Tab. 5 BIAS, RMSE a CC pro radar Brdy a Skalky, které jsou vypočteny pro denní úhrny z dní, kdy alespoň jedna stanice naměřila minimálně 30 mm. Jsou využita měření ze stanic do vzdálenosti 150 km od radaru. Pro radar Brdy uvedenou podmínku splňovalo 20 dní (8268 měření) a pro radar Skalky to bylo 21 dní (8747 měření).

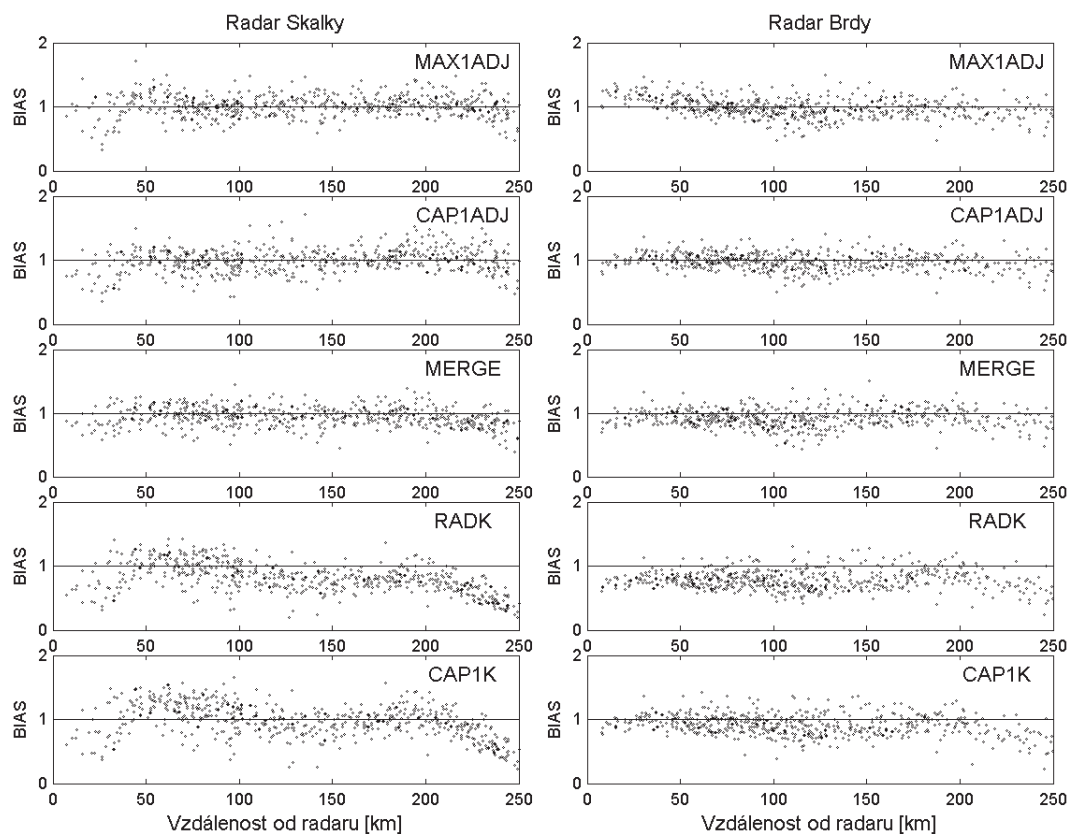
Table 5. BIAS, RMSE, and CC for the Brdy and Skalky radar stations, calculated for daily totals on the days on which at least one of the radar stations measured at least 30 mm. Readings from stations within 150 km from the radar sites have been used. For the Brdy radar station, 20 days satisfied the condition (8,268 readings) and for the Skalky radar station it was 21 days (8,747 readings).

Metoda	Brdy			Skalky		
	BIAS	RMSE	CC	BIAS	RMSE	CC
MAX1	0.969	10.986	0.78	1.375	12.614	0.74
MAX2	0.789	11.208	0.79	1.238	11.771	0.73
CAP1	0.504	13.233	0.83	0.772	10.178	0.79
COR1	0.505	13.264	0.83	0.791	9.935	0.80
MAX1K	1.023	9.485	0.85	1.005	8.991	0.83
MAX2K	1.007	9.333	0.85	0.997	9.192	0.82
CAP1K	0.939	7.500	0.91	0.952	8.215	0.86
COR1K	0.932	7.625	0.90	0.964	7.863	0.87
MAX1ADJ	0.975	6.709	0.93	0.997	6.435	0.92
MAX2ADJ	0.984	6.778	0.92	0.997	6.313	0.92
CAP1ADJ	0.980	6.257	0.93	0.994	6.414	0.92
COR1ADJ	0.979	6.272	0.93	0.986	6.239	0.92
MERGE	0.901	7.754	0.91	0.923	6.781	0.91
RADK	0.752	9.594	0.88	0.761	9.384	0.83

Tab. 6 BIAS, RMSE a CC pro radar Brdy a Skalky, které jsou vypočteny pro denní úhrny z dní, kdy alespoň jedna stanice naměřila minimálně 30 mm. Jsou využita měření ze stanic do vzdálenosti 250 km od radaru. Pro radar Brdy uvedenou podmínku splňovalo 25 dní (14 017 měření) a pro radar Skalky to bylo 27 dní (16 068 měření).

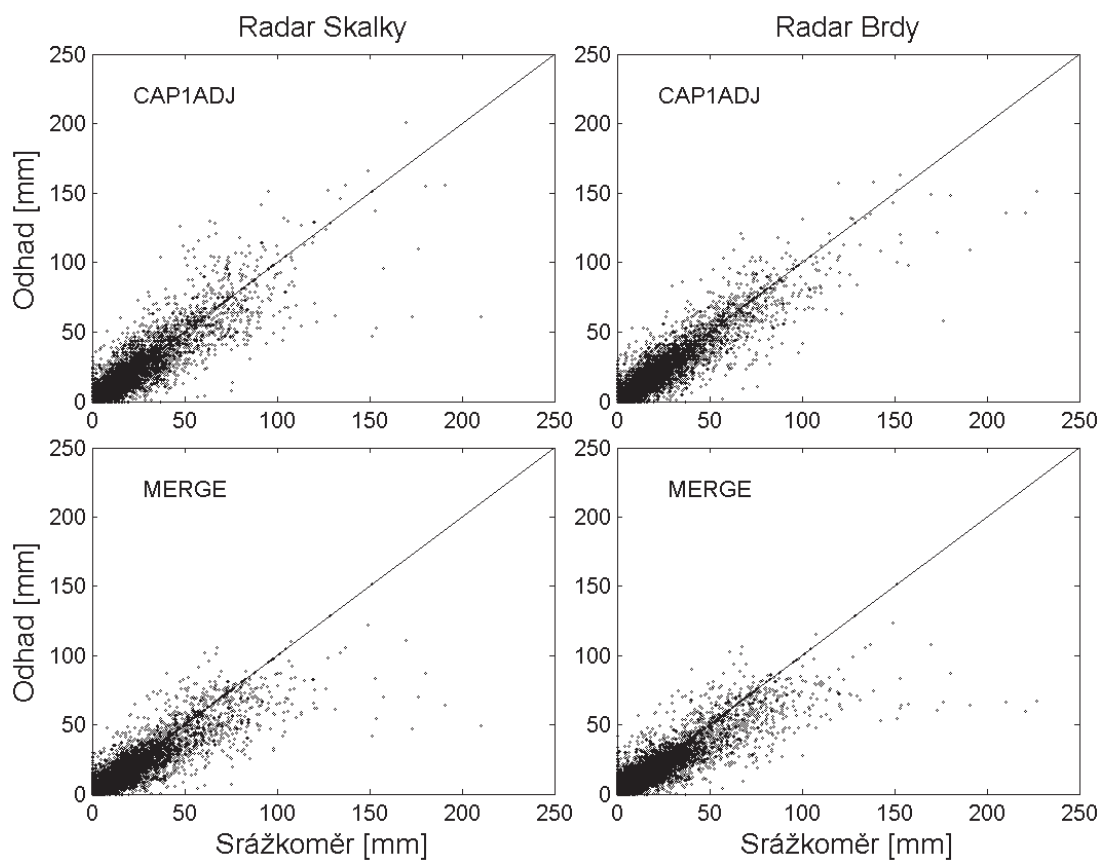
Table 6. BIAS, RMSE, and CC for the Brdy and Skalky radar stations, calculated for daily totals on the days on which at least one of the sites measured at least 30 mm. Readings from stations within 250 km from the radar stations have been used. For the Brdy radar station, 25 days satisfied the condition (14,017 readings) and for the Skalky radar site it was 27 days (16,068 readings).

Metoda	Brdy			Skalky		
	BIAS	RMSE	CC	BIAS	RMSE	CC
MAX1	1.024	12.734	0.79	1.704	13.342	0.77
MAX2	0.485	15.954	0.86	0.813	8.324	0.80
CAP1	0.480	16.008	0.86	0.814	8.321	0.80
COR1	0.829	12.976	0.80	1.590	12.023	0.78
MAX1K	1.091	11.245	0.85	1.211	7.841	0.84
MAX2K	0.947	8.422	0.91	0.988	6.879	0.86
CAP1K	0.933	8.512	0.91	0.978	6.805	0.87
COR1K	1.078	11.018	0.86	1.236	8.090	0.84
MAX1ADJ	0.981	7.977	0.92	0.974	5.861	0.90
MAX2ADJ	0.987	7.186	0.94	0.945	5.691	0.91
CAP1ADJ	0.987	7.202	0.94	0.947	5.661	0.91
COR1ADJ	0.993	7.992	0.92	0.970	5.746	0.91
MERGE	0.884	9.194	0.91	0.928	5.970	0.90
RADK	0.732	11.123	0.90	0.828	7.396	0.85



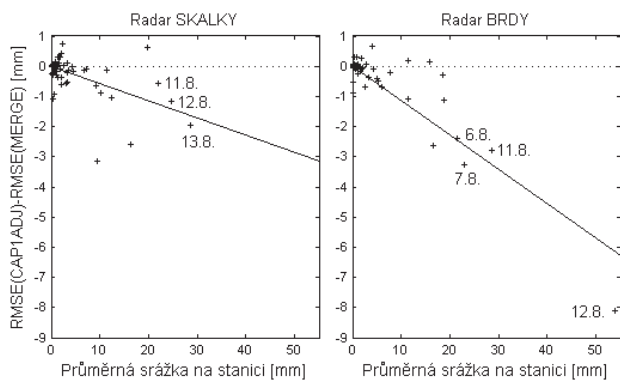
Obr. 6 Závislost BIAS na vzdálenosti od radarů Brdy a Skalky pro různé metody adjustace.

Fig. 6. Relation between BIAS and the distances from the Brdy and Skalky radar stations for different adjustment methods.



Obr. 7 Porovnání naměřených a odhadnutých hodnot pro metody CAPIADJ a MERGE a oba radary.

Fig. 7. Comparison of measured and estimated values for the CAPIADJ and MERGE methods and both radar stations.



Obr. 8 Rozdíl RMSE metod CAPIADJ a MERGE pro jednotlivé dny v závislosti na průměrné srážce na stanicích. RMSE je vypočteno ze všech stanic do vzdálenosti 190 km od radaru a jsou zakresleny všechny termíny, kdy průměrná srážka na stanici byla alespoň 0.1 mm. Pro vybrané srážkové úhrny jsou vyznačeny termíny.

Fig. 8. Difference between RMSE based on the CAPIADJ method and RMSE based on the MERGE method for individual days in relation to average precipitation at stations. RMSE have been computed from all stations to a distance of 190 km from the radar stations, and all times at which average precipitation at a station was at least 0.1 mm are depicted. The times are marked for selected precipitation totals.

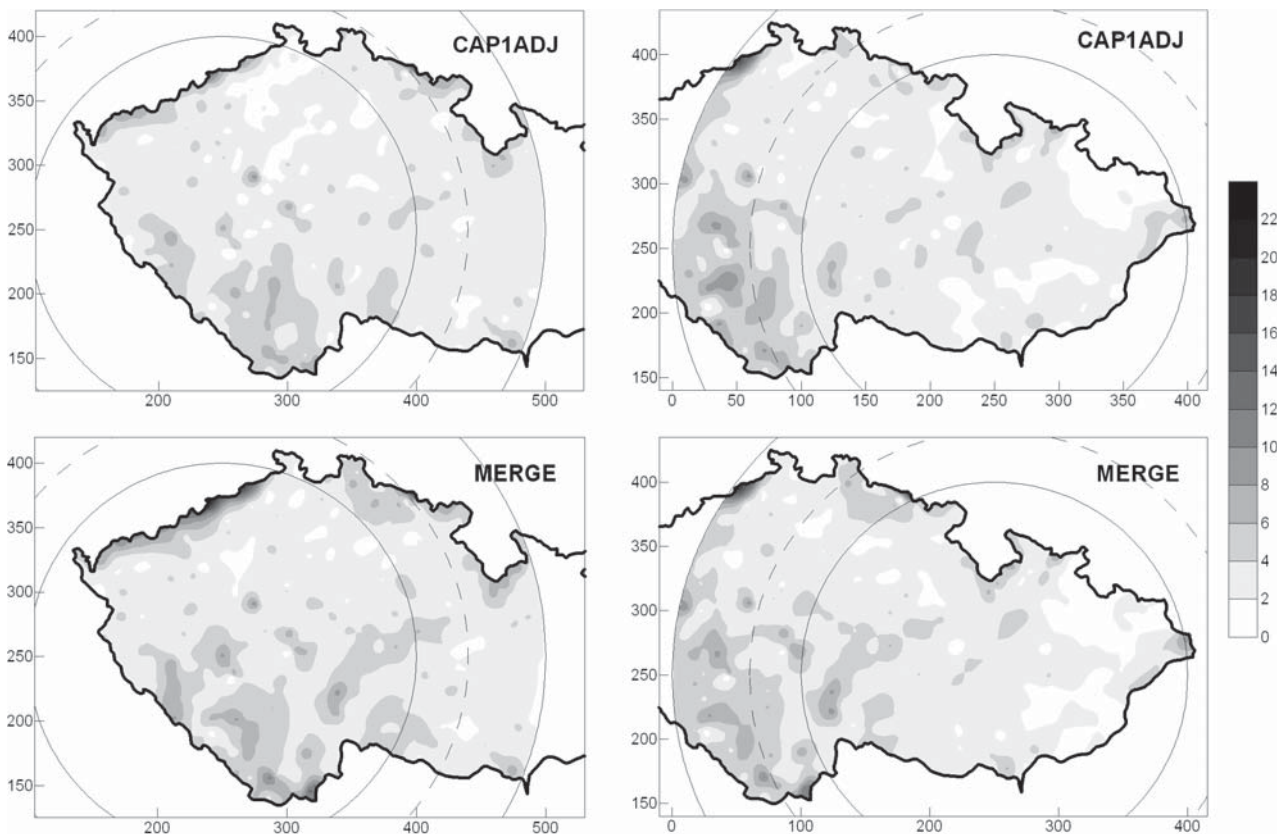
MERGE mírně přesnější odhady pro východní část Moravy a pro jihozápadní Čechy pro vzdálenost nad 200 km od radaru. CAPIADJ je přesnější na Českomoravské vrchovině a v oblasti Krkonoš a Jizerských hor. Při provozní aplikaci lze využít i srážkoměrná měření ze sousedních zemí, a proto lze

očekávat nižší chyby srážkových odhadů v pohraničních oblastech. Plošné rozložení chyb lze použít k verifikaci srážkoměrů. Jednotlivé body s lokálně vyšší hodnotou RMSE mohou sloužit jako indikátory chybně měřící nebo nereprezentativní srážkoměrné stanice.

Příklad praktické aplikace metod MERGE a CAPIADJ je uveden na obr. 10 pro extrémní srážky ze dne 12. 8. 2002. Výstupy metod lze srovnat s analýzou naměřených srážek ze všech stanic (INTER, KLIM) provedenou metodou kriging. Charakter výstupů jednotlivých polí se liší. Metoda CAPIADJ zachovává charakter radarového pole, které lokálně přizpůsobuje naměřeným srážkám. Naopak výstupy MERGE a analyzované pole jsou hladší, což je důsledkem toho, že vliv naměřených hodnot ze srážkoměrů se interpoluje (extrapoluje) geostatistickou metodou minimalizující kvadratickou chybu. Inherentní vlastností metody MERGE je též přizpůsobení celkového odhadu srážkoměrnému poli v závislosti na hustotě stanic; z toho vyplývá poměrně malý vliv radarového odhadu na místech s velkou hustotou srážkoměrů. Tímto se též výrazněji potlačují nežádoucí artefakty radarového odhadu (např. zastínění překážkami v blízkém okolí radaru).

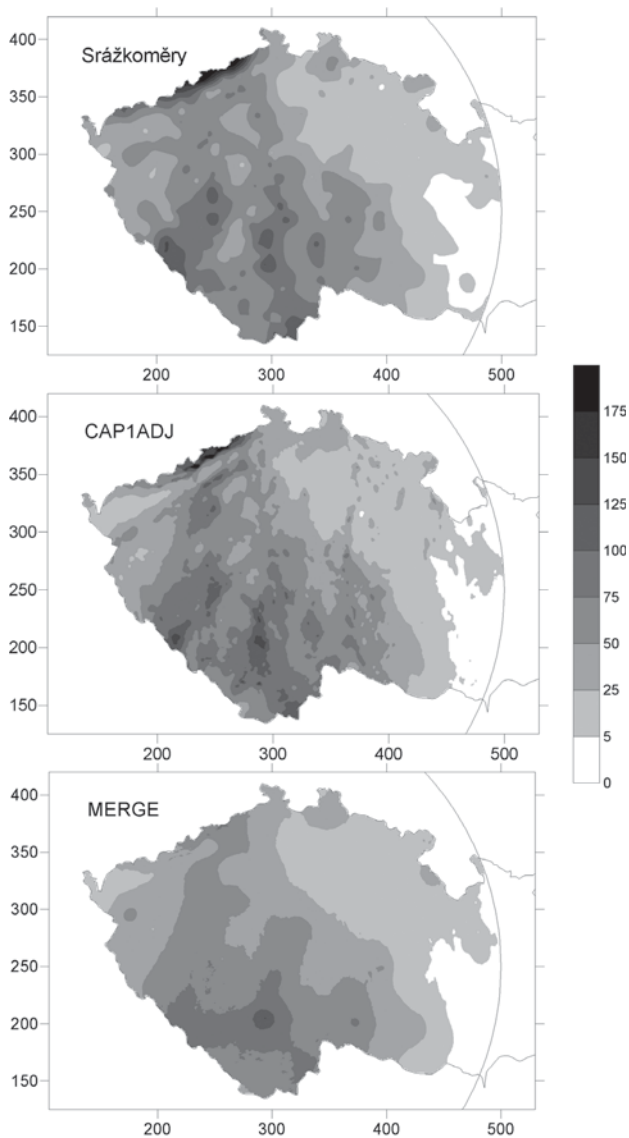
5. ZÁVĚR

Získané výsledky z porovnání čtyř postupů, které na základě radarových měření odhadují množství srážek, a několika adjustačních metod, které využívají měření stanic INTER ke korekci radarových srážek, lze shrnout do níže uvedených bodů. Při vyhodnocování přesnosti odhadu srážek se vycházelo ze srážkoměrných měření na nezávislých stanicích.



Obr. 9 Plošné rozložení RMSE v mm pro metody CAPIADJ a MERGE v oblastech radaru Brdy a Skalky. Kružnicemi jsou vyznačeny vzdálenosti 150, 190 a 250 km od radaru.

Fig. 9. Areal distribution of RMSE in mm for the CAPIADJ and MERGE methods in the areas of the Brdy and Skalky radar stations. Circles mark distances of 150, 190, and 250 km from the radar stations.



Obr. 10 Odhad srážek pro 12. 8. 2002 metodou CAPIADJ a MERGE v porovnání s plošnou analýzou všech dostupných srážkoměrných měření v domně radaru Brdy.

Fig. 10. Precipitation estimate for 12 August 2002 using the CAPIADJ and MERGE methods in comparison with the areal analysis of all the available rain gauge readings in the Brdy radar domain.

Výpočty byly provedeny pro denní úhrny, avšak na základě zkušeností s použitými adjustačními metodami dovozujeme, že obdobné výsledky mohou být dosaženy i pro kratší akumulace srážek. Pro kratší úhrny však relativní chyby odhadů narostou, což souvisí s menší reprezentativností (kvalitou) srážkoměrných měření a též s menší reprezentativností vztahu srážkoměrných měření a korespondujících radarových odhadů. Výsledky byly získány na datech z teplé poloviny roku 2002. Je třeba poznamenat, že konkrétní výsledky mohou být ovlivněny kvalitou radarových dat v daném období.

- Radarové produkty CAPPI 2 km a vertikálně korigované CAPPI 2 km, které odhadují srážky, významně redukuje závislost systematické chyby na vzdálenosti od radaru ve srovnání s radarovými odhady vycházejícími z maximální odrazivosti ve vertikálním sloupci.
- Systematická multiplikativní chyba, která se projevila v datech z radaru Brdy, může výrazně zhoršit odhad

srážek. Proto je potřeba korigovat původní radarové odhady pomocí aktuálních měření z pozemních stanic.

- Všechny postupy adjustace radarových srážek využívající pozemní měření výrazně zlepšují odhady srážek. U jednoduchých metod založených na korekci multiplikativní konstantou spočívá zlepšení v opravě systematické chyby. Složitější metody adjustace však dávají výrazně přesnější odhady a protože využívají stejná data, je třeba tyto metody aplikovat.
- Adjustační metoda založená na interpolaci „modifikovaného podílu“ výrazně zlepšuje odhad srážek pro všechny postupy odvození srážky z radarových dat. I když adjustace výrazně zmenší rozdíly mezi jednotlivými metodami přípravy radarových odhadů, lze obecně říci, že nejlepší výsledky byly dosaženy metodami COR1ADJ a CAPIADJ a nejhorší MAX2ADJ, přičemž rozdíly se projevují především pro větší pozorované srážky. Zřetelně lepší hodnoty korelace metodami COR1ADJ a CAPIADJ pro srážky ≥ 50 mm (s výjimkou radaru Skalky s uvažováním i vzdálených stanic (nad 200 km)) svědčí i o lepším celkovém vystihnutí srážkového pole. COR1ADJ dává přesnější odhady než CAPIADJ ve vzdálenostech nad 200 km od radaru.
- Z porovnání dvou odlišných adjustačních metod CAPIADJ a MERGE, které využívají stejná vstupní data, vyplývá, že odhady CAPIADJ jsou přesnější. Zatímco pro oblast radaru Skalky rozdíly nejsou veliké, pro oblast Brdy jsou chyby odhadů CAPIADJ zřetelně nižší. Větší rozdíly mezi metodami se projevují pro oba radary při velkých srážkových úhrnech, které metoda MERGE podhodnocuje, přičemž se zde zřejmě projevila vliv nastavené konzervativnosti (pomalejší reakce) adjustačního koeficientu, který je pro výpočet předběžně adjustovaného pole RADK v metodě MERGE počítán z klouzavého časového okna alespoň tři dnů.
- Nejlepších výsledků dosáhla metoda „modifikovaného podílu“ na radarových vertikálně korigovaných datech CAPPI 2 km.

Poděkování

Výsledky v tomto článku byly získány s podporou grantu GA AVČR S3042101. Autoři děkují ČHMÚ za poskytnutí radarových a srážkoměrných dat, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

Literatura

- [1] AUSTIN, P. M., 1987: Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Monthly Weather Review*, Vol. **115**, s. 1053–1070.
- [2] COLLIER, Ch. C., 1996: Applications of weather radar systems. Praxis Publishing Ltd., 390 s. ISBN 0-471-96013-6.
- [3] ERAD3, 2004: European conference on radar in meteorology and hydrology (ERAD). Visby, Island of Gotland, Sweden, 6–10 September 2004.
- [4] FULTON, R. A. – BREIDENBACH, J.R. – SEO, D. J. – MILLER, D. A. 1998: The WSR-88D rainfall algorithm. *Weather Forecasting*, Vol. **13**, s. 377–395.
- [5] GABELLA, M. – AMITAI, E., 2000: Radar rainfall estimates in an alpine environment using different gage adjustment techniques. *Physics and Chemistry of the Earth (Part B)*, Vol. **25**, s. 927–931.
- [6] GIBSON, M., 2000: Comparative study of several gauge

- adjustment schemes. *Physics and Chemistry of the Earth* (Part B), Vol. **25**, s. 921–926.
- [7] GROISMAN, P. Y. – LEGATES, D. R., 1994: The Accuracy of United States Precipitation Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. **75**, s. 215–227.
- [8] HAVRÁNEK, P. – KRÁČMAR, J., 1996: Nová radiolokační meteorologická stanice na střední Moravě. *Meteorologické Zprávy*, roč. **49**, s. 81–84.
- [9] JOSS, J. – WALDVOGEL, A., 1990: Precipitation measurements and hydrology. D. Atlas (Ed.), Radar in Meteorology., American Meteorological Society, s. 577–606.
- [10] KRÁČMAR, J., 2000: Nový radar Brdy v síti CZRAD. *Meteorologické Zprávy*, roč. **53**, s. 161–168.
- [11] KRÁČMAR, J. – JOSS, J. – NOVÁK, P. – HAVRÁNEK, P. – ŠÁLEK, M., 1998: First steps towards quantitative usage of data from Czech weather radar network. COST75 Advanced Weather Radar Systems. COST75 Final Seminar. Locarno, Switzerland, 23 – 27 March 1998, s. 91–101.
- [12] MICHELSON, D. – EINFALT, T. – HOLLEMAN, I. – GJERTSEN, U. – FRIEDRICH, K. et al., 2004: Weather Radar Data Quality in Europe: Quality Control and Characterization. Dokument COST717, <http://www.smhi.se/cost717/>
- [13] NOVÁK, P., 2000: Meteorological Interpretation of Doppler Weather Radar Measurements. [Doktorská disertační práce.] Praha: Univerzita Karlova. Fakulta matematicko-fyzikální. 89 s.
- [14] ŘEZÁČOVÁ, D., – SOKOL, Z., 2004: Radar verification approach to the QPF for local flash flood storms. ERAD Publication Series vol. 2, in: European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology. Visby, Island of Gotland, Sweden, 6–10 September 2004. s. 193–196.
- [15] ŘEZÁČOVÁ, D. – SOKOL, Z. – KRÁČMAR, J. – NOVÁK, P., 2001: Statistical adjustment of radar-based daily precipitation to ground data from the Czech territory. Proc. "30th Intern. Conf. on Radar Meteorology", 19–24 July 2001. Munich, Germany. American Meteorological Society, s. 570–572.
- [16] SEO, D. J., 1998: Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data. *Journal of Hydrology*, Vol. **208**, p. 37–52.
- [17] SOKOL, Z., 2003: Utilization of Regression Models for Rainfall Estimates Using Radar-Derived Rainfall Data and Rain Gauge Data. *Journal of Hydrology*, Vol. **278**, p. 144–152.
- [18] SOKOL, Z. – ŘEZÁČOVÁ, D., 2001: Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese. *Meteorologické Zprávy*, roč. **54**, s. 46–56.
- [19] SOKOL, Z. – ŘEZÁČOVÁ, D. – PEŠICE, P. 2002: Radar and rain gauge estimates of daily and hourly sums of precipitation for river basins in the Czech Republic. ERAD02 series 1, in: European Conference on Radar Meteorology. Delft University of Technology, 18–22 November 2002, s.286–290.
- [20] SOKOL, Z. – ŘEZÁČOVÁ, D., – PEŠICE, P., 2003: Odhady bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných i radarových dat. *Meteorologické Zprávy*, roč. **54**, č. 1, s. 1–12.
- [21] ŠÁLEK, M., 2000: The radar and rain gauge merged precipitation estimate of daily rainfall – First results in the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth* (Part B), Vol. **25**, s. 977–979.
- [22] ŠÁLEK, M., – NOVÁK, P. – SEO, D. J., 2004: Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. ERAD Publication Series vol. 2, in: European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology. Visby, Island of Gotland, Sweden, 6–10 September 2004. s. 16–20.

Lektorka RNDr. D. Řezáčová, CSc., rukopis odevzdán v říjnu 2004.

METEOROLOGICKÁ KONFERENCE DACH 2004

Meteorologická konference DACH 2004 byla uspořádána v bádenském Karlsruhe 6.–10. září 2004 v rámci trojstranné spolupráce německy mluvících meteorologických společností: Deutsche Meteorologische Gesellschaft (DMG) /www.dmg-ev.de/, Schweizerische Gesellschaft für Meteorologie (SGM) /www.sgm.ethz.ch/, Österreichische Gesellschaft für Meteorologie (ÖGM) /www.boku.ac.at/oegm/, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe und Universität Karlsruhe /www-imk.fzk.de & www.imk.uni-karlsruhe.de/.

Akce se zúčastnilo přes 500 expertů. Jednání proběhlo ve 14 sekcích: teoretické základy (7 přednášek a posterů), předpověď počasí (13), extrémní projevy počasí v Evropě (32), vodní cirkulace a oceánografie (27), vzájemné působení zemského povrchu – biosféry – atmosféry (61 přednášek a posterů včetně Stříž, Nekovář: Využití GIS pro vizualizaci vybraných fenofází území České republiky), konvekční procesy (17), doprava ((9), horská meteorologie (20), střední atmosféra (21), oblast tropopauzy (16), dálkový průzkum pomocí satelitů (23), dálkový průzkum ze zemského povrchu (14), měřicí techniky in situ (17), numerické modely (20 včetně Žák, Květoň: Verifikace ALADIN-předpovědi vektorů větru v 10 m

nad zemí v ČR), přenos záření (24), fyzika životního prostředí a atmosférická chemie (22), globální a regionální klimatologie (38 včetně Květoň, Žák, Škáchová: Charakteristické teploty a jejich prostorová interpolace v GIS), aspekty humánní biometeorologie (13), aktuální práce odborných výborů (19). Účastníci obdrželi po dobu konference bezplatnou jízdenku na linky městské hromadné dopravy, byli přijati starostou města a rektorem univerzity a první den byla uspořádána tisková konference pro zajištění mediální publicity meteorologických společností.

Účastníci obdrželi program (časový program sekcí s názvy přednášek a posterů, vloženým programem a seznamem účastníků), sborník abstraktů přednášek a posterů (obsahující jednostránkové abstrakty příspěvků a posterů, 468 stran) a CD-ROM (šestistránkové rozšířené abstrakty příspěvků, 225 MB), zároveň jsou tyto informace k dispozici zájemcům na adrese <http://imk-msa.fzk.de/dach2004/Rahmenprogramm/Begleitpersonenprogramm/index.html>.

Účastníkům z ČHMÚ zároveň konference pomohla k rozšíření znalostí o alternativách zpracování klimatických charakteristik v průběhu prací na připravovaném Atlasu podnebí ČR.

Jiří Nekovář

TRENDY JEDENÁCTI KLIMATICKÝCH PRVKŮ V OBDOBÍ 1961–1998 V ČESKÉ REPUBLICE

Trends in eleven climatic elements in the Czech Republic in the period 1961–1998. The warming in the Czech Republic is strongest in winter; in spring and summer, the warming is weaker, whereas in autumn, a cooling is observed. The trends are most statistically significant in summer because of a lower interannual variability. The daily temperature range (DTR) rises in winter, spring and summer. Consistent with the temperature and DTR changes are trends in sunshine duration, which is becoming longer except for autumn, in cloudiness, which decreases at most stations except for autumn, and in relative humidity. Precipitation and wind component trends are spatially and seasonally inconsistent and mostly insignificant. A comparison with the trends in an earlier period, 1949–1980, suggests that the winter and summer warming in the Czech Republic magnifies.

KLÍČOVÁ SLOVA: prvky klimatické – změny dlouhodobé – oteplování – homogenita staničních měření

1. ÚVOD

Studie dlouhodobých změn přízemních klimatických prvků jsou podstatnou složkou výzkumu probíhající klimatické změny. Většina z těchto studií se soustřeďuje na jeden klimatický prvek, nejčastěji teplotu (z prací vztahujících se k Evropě uvedme např. [6, 9, 13, 26, 41, 42]) a srážky [10, 28, 43]. Práce zabývající se jinými klimatickými prvky jsou podstatně méně četné; týkají se především oblačnosti [21, 35, 36], délky trvání slunečního svitu [2, 5, 38], rychlosti větru [31, 34] a směru větru [18]. Několik studií tohoto typu bylo publikováno i v češtině a slovenštině v Meteorologických zprávách; zabývaly se dlouhodobými změnami teploty [8], slunečního svitu [19, 22], globálního záření [15] a srážek [4, 37] na území České republiky a bývalého Československa.

Některé další práce se zabývají několika proměnnými současně, což umožňuje hledat příčiny pozorovaných trendů. To je případ např. prací zkoumajících trendy délky trvání slunečního svitu (nebo slunečního záření) a oblačnosti [1, 24, 25, 29], včetně teplotních proměnných, zejména denní amplitudy teploty [7, 40].

Cílem naší práce je prezentace výsledků analýzy dlouhodobých změn 11 klimatických proměnných na 21 stanicích v České republice v období 1961–1998. Analyzována jsou odděleně jednotlivá roční období. Součástí práce je i srovnání s trendy v období 1949–1980 a posouzení, nakolik mohou být výsledky ovlivněny přesuny tří zkoumaných stanic.

2. DATA

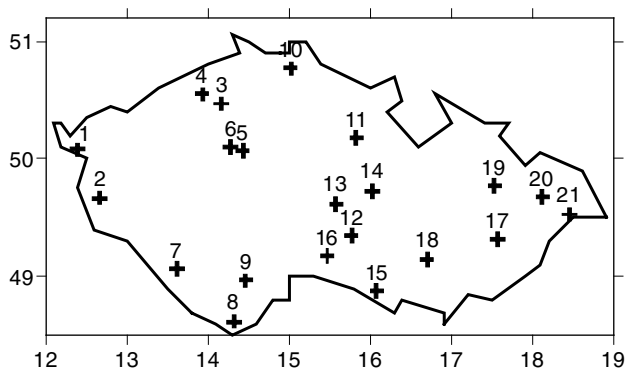
V této práci analyzujeme trendy sezonních průměrů 11 klimatických proměnných v České republice pro 38leté

období 1961–1998. Zkoumané proměnné zahrnují: denní průměrnou, maximální a minimální teplotu, denní amplitudu teploty, zonální a meridionální složku větru, relativní vlhkost, oblačnost, délku trvání slunečního svitu (dále jen „sluneční svit“), úhrn srážek a výskyt srážek, tj. pravděpodobnost srážkového dne. Denní průměrná teplota je počítána standardním způsobem z termínových měření v 7, 14 a 21 hodin. Denní amplituda teploty se definuje jako rozdíl mezi denní maximální a minimální teplotou. Vítr, relativní vlhkost a oblačnost jsou hodnoty měřené ve 14 hodin. Zonální složka větru je

Tab. 1 Seznam stanic s jejich nadmořskými výškami. Uvedeny jsou i údaje podstatné pro homogenitu řad měření. Údaje o přemístění stanic jsou převzaty z [12]. Čísla odkazují na obr. 1.

Table 1. List of stations with their elevation. Shown is also information relevant for the station homogeneity. Data on station movements are taken from [12]. Numbers refer to Fig. 1.

Číslo	Jméno stanice	Nadmořská výška (m.n.m.)	Poznámky
1	Cheb	474	
2	Přimda	745	
3	Doksany	158	
4	Milešovka	833	
5	Praha-Karlovy	232	
6	Praha-Ruzyně	380	chybí měření slunečního svitu; 1979 – přemístění stanice – změna nadm. výšky o –16 m
7	Churáňov	1118	
8	Vyšší Brod	559	
9	České Budějovice	387	chybí měření slunečního svitu; 1976 – přemístění stanice – změna nadm. výšky o +1 m
10	Liberec	400	1990 – přemístění stanice – změna nadm. výšky o –2 m
11	Hradec Králové	278	
12	Přibyslav	530	
13	Havlíčkův Brod	455	chybí měření slunečního svitu
14	Svratouch	737	chybí měření relativní vlhkosti
15	Kuchařovice	334	
16	Kostelní Myslová	569	
17	Holešov	224	
18	Brno-Tuřany	241	
19	Červená	750	
20	Ostrava-Mošnov	251	
21	Lysá hora	1324	



Obr. 1 Poloha analyzovaných stanic; seznam viz tab. 1.

Fig. 1. Location of stations; for their list see Tab. 1.

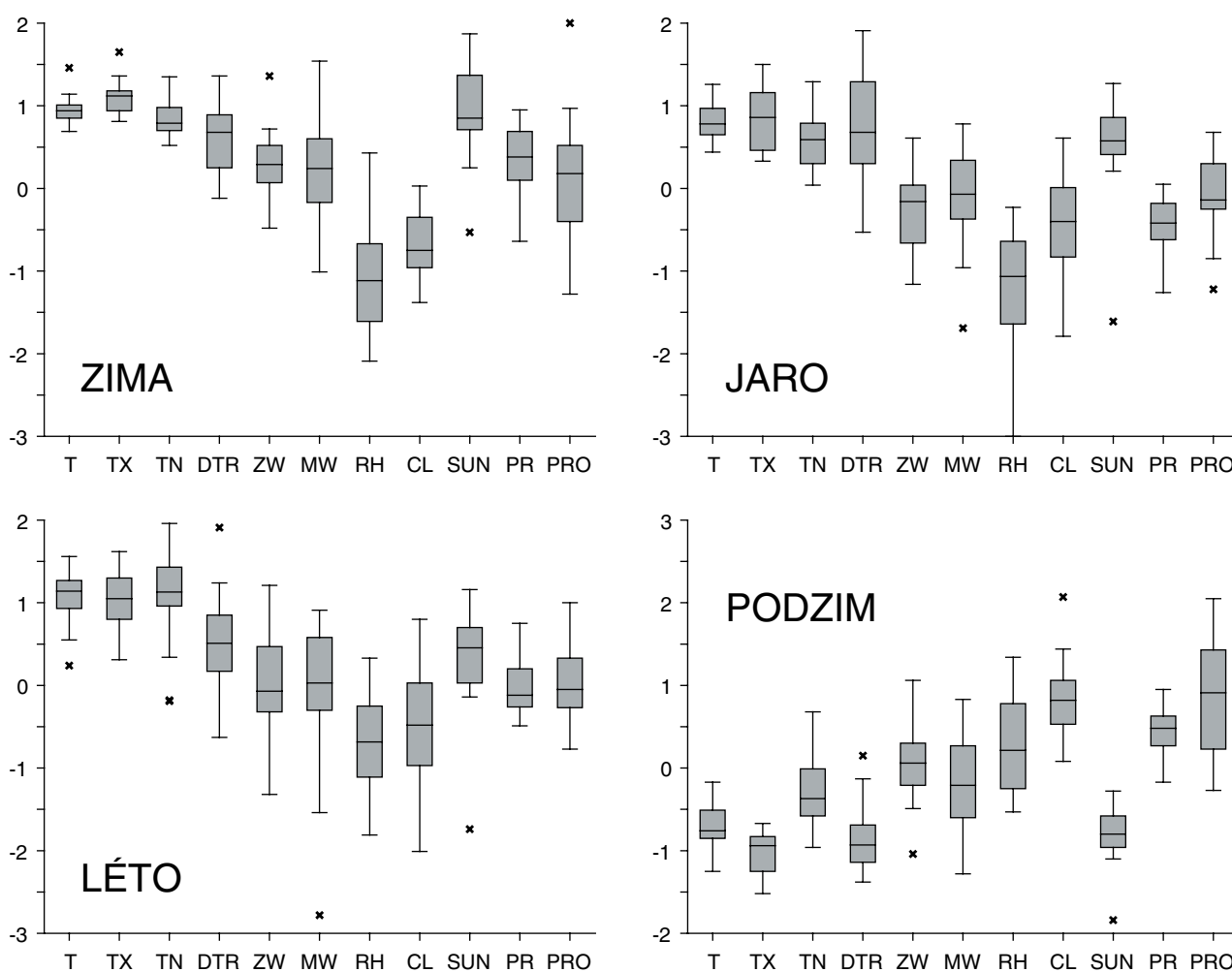
definována jako kladná pro vítr ze západních směrů, meridi-onální složka je kladná pro vítr z jižních směrů. Výskyt srážek definujeme jako 1, byly-li pozorovány měřitelné srážky (s úhrnem ≥ 0.1 mm), jinak jako 0. Sezony (roční období) jsou definovány standardním způsobem, tj. zima zahrnuje měsíce prosinec až únor atd.

Seznam použitých stanic je uveden v tab. 1 spolu s jejich nadmořskými výškami; poloha stanic je znázorněna na mapě na obr.1. V tab.1 jsou rovněž uvedeny podstatné informace o (ne)dostupnosti, popř. neúplnosti měření některých prvků na některých stanicích a o přesunech stanic, jejichž důsledkem může být nehomogenita měření. Klimatické prvky s neúplnými řadami jsme neanalyzovali, chyběla-li měření dlouhodobě – to se týká slunečního svitu na třech stanicích a relativní vlhkosti na jedné stanici. Při krátkodobých přerušeních měření byly sezonní průměry počítány z dostupných hodnot. Stanice, jež změnily během zkoumaného období polohu, jsme podrobili stejné analýze trendů jako ostatní stanice, což nám umožňuje odhadnout, nakolik může přesun stanice coby

pravděpodobný zdroj nehomogenity měření ovlivnit zjištěné trendy.

3. METODY VÝPOČTU TRENDŮ

Trendy jsme určovali parametrickým i neparametrickým způsobem. Parametrickou metodou je běžná lineární regrese pomocí nejmenších čtverců. Jako neparametrickou jsme použili tzv. metodu mediánu sklonů mezi dvojicemi bodů (z anglického „median of pairwise slopes“). Její princip je ve stručnosti následující: Nejdříve se pro všechny dvojice datových bodů (v našem případě dvojice [rok; odpovídající sezonní průměr proměnné]) spočítá sklon přímky, která je spojuje; ze všech takto určených sklonů se pak určí medián, což je právě neparametrický odhad sklonu regresní přímky. Více podrobností lze najít v [23]. Předchozí studie ukázala, že rozdíly mezi odhady provedenými oběma metodami jsou velmi malé [17]. Pro rozhodnutí, zda zjištěný trend je nenulový, jsme dali přednost intervalům spolehlivosti před testy statistické významnosti, neboť testování statistické významnosti



Obr. 2 „Krabíčko-vousový“ diagram zobrazující trendy určené parametrickou metodou, normalizované polovinou šířky 95% intervalu spolehlivosti. Krabíčky ukazují dolní a horní kvartil, střední čára je medián a „vousy“ ukazují minimální a maximální hodnoty; pokud jsou minimum a maximum odlehle hodnoty, jsou vyznačeny křížkem. Diagramy jsou zpracovány odděleně pro sezony; proměnné jsou označeny jejich anglickými zkratkami, tj. T = teplota, TX = maximální teplota, TN = minimální teplota, DTR = denní amplituda teploty, ZW = zónální vítr, MW = meridionální vítr, RH = relativní vlhkost, CL = oblačnost, SUN = sluneční svit, PR = úhrn srážek, PRO = pravděpodobnost výskytu srážek.

Fig. 2. Box-and-whisker plot displaying trends determined by the parametric method, normalized by the half-width of the 95% confidence interval. Boxes show the lower and upper quartiles, the middle line is median, and whiskers point to minimum and maximum values; if the minimum and maximum are outliers, are denoted by crosses. Separate graphs are shown for each season; variables are denoted by their English abbreviations, i.e., T = temperature, TX = maximum temperature, TN = minimum temperature, DTR = daily temperature range, ZW = zonal wind, MW = meridional wind, RH = relative humidity, CL = cloudiness, SUN = sunshine duration, PR = precipitation amount, PRO = probability of precipitation occurrence.

Tab. 2 Počty stanic s trendy (zápornými / kladnými) překračujícími 95% interval spolehlivosti, tj. počty stanic s nenulovými trendy.

Table 2. Numbers of stations with trends (negative / positive) exceeding the 95% confidence interval (i.e., numbers of stations with non-zero trends).

Proměnná	zima	jaro	léto	podzim
teplota	-/5	-/3	-/14	3/-
max. teplota	-/14	-/6	-/10	9/-
min. teplota	-/4	-/2	-/15	-/-
denní amplituda teploty	-/3	-/7	-/3	7/-
zonální vítr	-/1	2/-	2/2	1/1
meridionální vítr	1/1	1/-	2/-	2/-
relativní vlhkost	11/-	11/-	5/-	-/1
oblačnost	5/-	4/-	5/-	-/5
sluneční svit	-/7	-/4	-/1	2/-
úhrn srážek	-/-	1/-	-/-	-/-
pravděpodobnost výskytu srážek	1/1	1/-	-/1	-/10

je v souvislosti s detekcí trendů považováno za sporný postup [27]. Interval spolehlivosti jsme určovali pro parametrické odhady trendů (tj. pro odhady metodou nejmenších čtverců). O „nenulovém“ nebo „významném“ trendu hovoříme tehdy, leží-li nulový trend mimo 95% interval spolehlivosti okolo parametrického odhadu trendu.

Velikosti trendů proměnných jsou prezentovány pomocí map, po čtyřech (pro každou sezonu zvlášť) pro každý prvek. Hodnoty uváděné v mapách jsou změny daného prvku v běžných jednotkách ($^{\circ}\text{C}$ pro teploty, ms^{-1} pro vítr, % pro relativní vlhkost, desetiny pokrytí pro oblačnost, hodiny pro trvání slunečního svitu, mm pro úhrn srážek, 1 pro pravděpodobnost srážkového dne) přepočítané na 100 let. Místo vyznačování významnosti trendů přímo do map, jež by ztížilo jejich čitel-

nost, uvádíme v tab. 2 počty významných trendů pro každý prvek a každou sezonu.

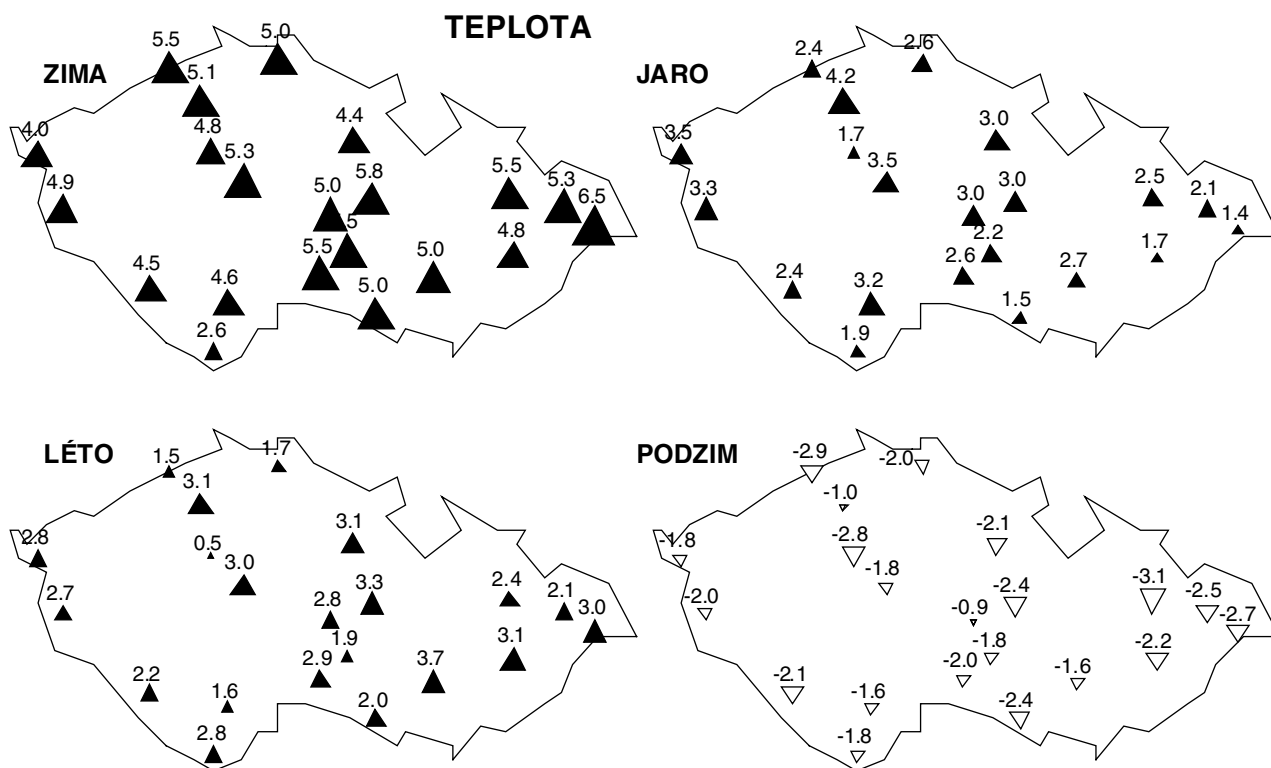
Významnost trendů lze posoudit i z obr. 2, který obsahuje „krabičko-vousové“ (z anglického „box-and-whisker“) diagramy zobrazující normalizované trendy. Normalizace byla provedena tak, že velikost trendu každé proměnné na každé stanici byla vydělena polovinou šířky příslušného intervalu spolehlivosti. Takto normalizované trendy mají tu výhodu, že jsou snadno srovnatelné mezi různými proměnnými, neboť významné trendy nabývají velikosti (v absolutní hodnotě) větší než jedna, zatímco normalizované trendy mezi -1 a $+1$ jsou nevýznamné.

4. VÝSLEDKY A POROVNÁNÍ S DALŠÍMI STUDIEMI

4.1 Teplotní proměnné

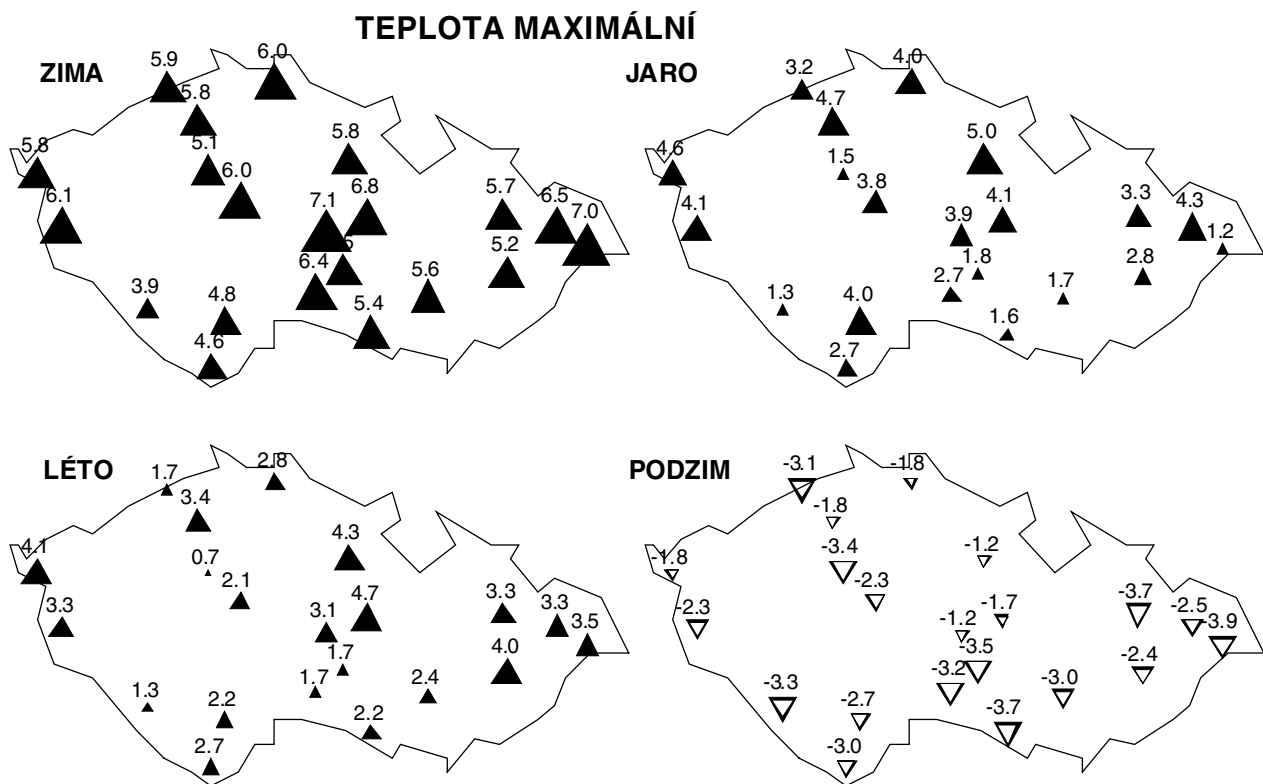
Trendy denní průměrné teploty jsou ukázány na obr. 3. Zřejmý je roční chod trendů: největší oteplení zaznamenáváme v zimě (s výjimkou stanice Vyšší Brod, kde je oteplování nejsilnější v létě), a to v rozsahu 4.0 až 6.5 $^{\circ}\text{C}$ za století; na jaře a v létě je oteplení menší; na podzim naopak pozorujeme ochlazení. Lze pozorovat tendenci k tomu, že v západní polovině území nastává větší oteplení na jaře než v létě; pro východní polovinu území to platí naopak. Trendy ročních průměrných teplot (nejsou ukázány) dosahují 1.6 až 3.3 $^{\circ}\text{C}$. Počty stanic s významnými trendy v tab. 2 ukazují, že nenulové trendy teploty jsou nejčetnější, tj. zaznamenány na nejvíce stanicích v létě. Oteplování je sice nejsilnější v zimě, ale díky nižší proměnlivosti se nejvíce nenulových trendů vyskytuje v létě.

Maximální a minimální teploty (obr. 4 a 5) se chovají podobně jako průměrná teplota: největší nárůsty pozorujeme

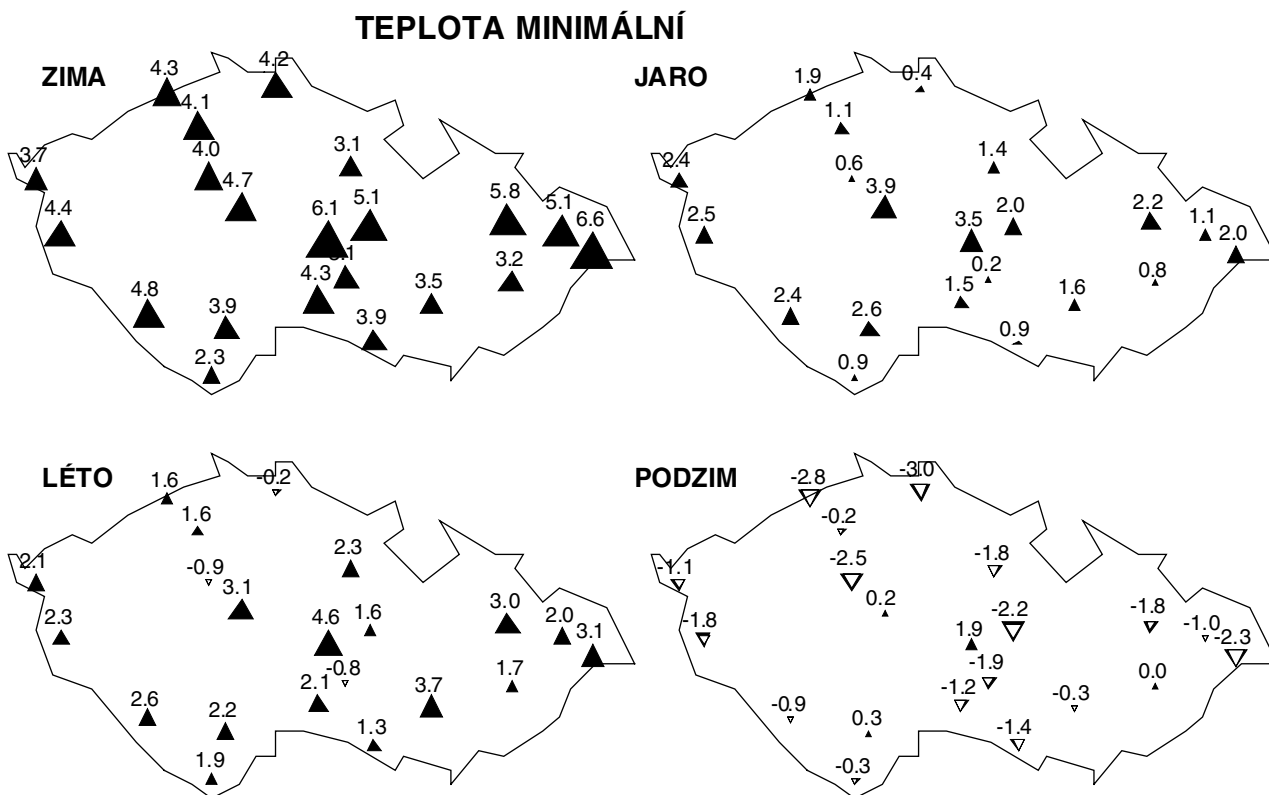


Obr. 3 Trendy průměrné teploty na stanicích. Trendy jsou určeny neparametrickou metodou. Velikost staničních symbolů je úměrná velikosti trendu; nárůst (pokles) teploty je vyznačen plným (prázdným) trojúhelníkem směřujícím nahoru (dolů).

Fig. 3. Station trends of mean temperature. Trends are determined by the non-parametric method. The size of symbols is proportional to the trend magnitude; temperature increase (decrease) is denoted by a full (empty) triangle pointing upward (downward).

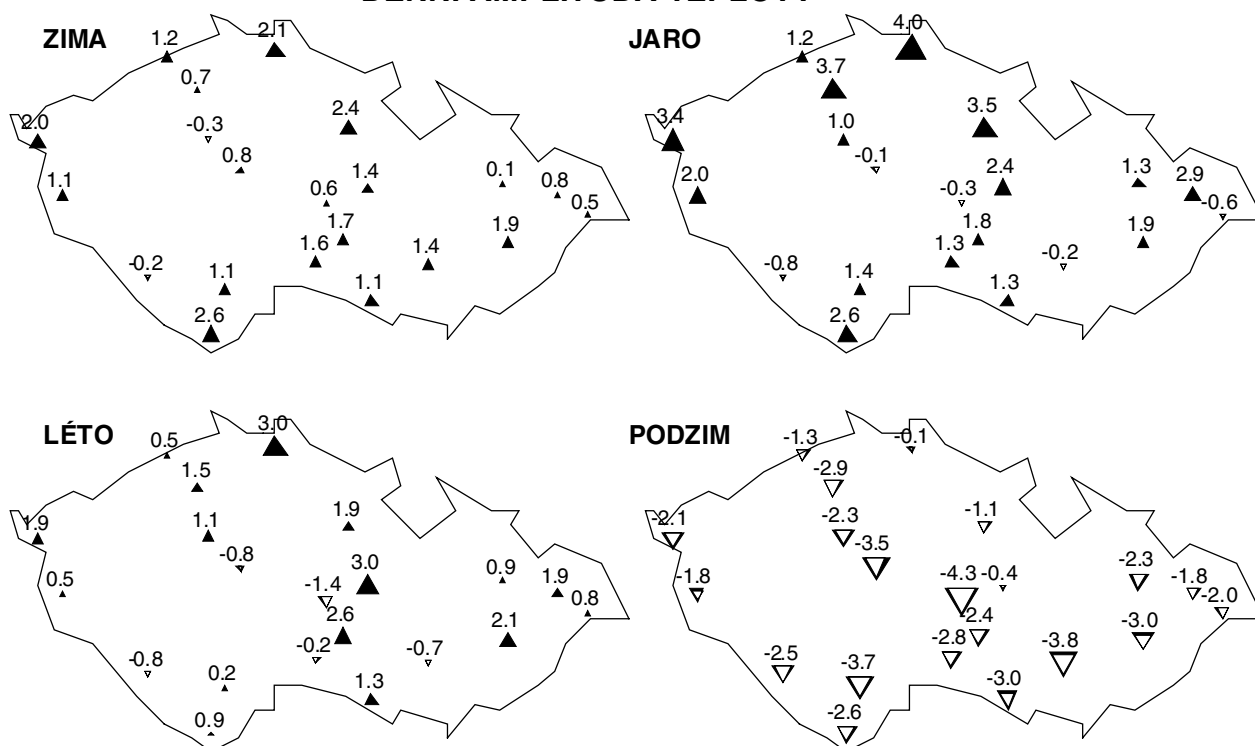


Obr. 4 Trendy maximální teploty; jinak jako na obr. 3.
 Fig. 4. As in Fig. 3, except for maximum temperature.



Obr. 5 Trendy minimální teploty; jinak jako na obr. 3.
 Fig. 5. As in Fig. 3, except for minimum temperature.

DENNÍ AMPLITUDA TEPLoty



Obr. 6 Trendy denní amplitudy teploty; jinak jako na obr. 3.

Fig. 6. As in Fig. 3, except for daily temperature range.

v zimě, slabší na jaře a v létě, zatímco na podzim dochází k poklesu teplot. Výjimkou je minimální teplota v létě, jež na třech stanicích (Liberec, Praha-Ruzyně, Příbryslav) klesá. Z nich však dvě stanice podstoupily změnu polohy, jež trendy s velkou pravděpodobností ovlivnila – viz diskusi v kap. 6.

Zjištěná sezonalita teplotních trendů je v dobrém souladu s dalšími studii pro Českou republiku a okolní země (např. [6, 7, 41, 42]).

Denní amplituda teploty (obr. 6) se na podzim zmenšuje; v ostatních sezonách (vždy s výjimkou několika málo stanic) roste. Pokles amplitudy teploty, způsobený rychlejším růstem minimální než maximální teploty, je přitom všeobecně přijímán za indikátor probíhající klimatické změny na většině kontinentálních území [14, 20]. V České republice pozorujeme opak: v zimě, na jaře a v létě rostou maximální teploty rychleji než minimální, což vede k růstu teplotní amplitudy (byť tento růst je méně významný než pro teploty). Na podzim pak je pokles amplitudy teploty způsoben rychlejším poklesem maximálních než minimálních teplot. Toto poněkud výjimečné chování denní amplitudy teploty bylo již dříve zaznamenáno v různých částech našeho kontinentu, včetně střední a jihovýchodní Evropy [6, 7, 13, 42], alpských vrcholů [40], Itálie [9] a Španělska [11].

4.2. Vítr

Dlouhodobé změny zonální a meridionální složky větru (obr. 7 a 8) jsou až na výjimky statisticky nevýznamné, leží blízko nuly, jsou značně prostorově proměnlivé a nepreferují ani kladné ani záporné znaménko. Jisté celoroční a částečně i prostorově konzistentní tendence se dají vypořádat v severozápadních Čechách s výjimkou Milešovky (stanice Cheb, Doksany a Praha-Ruzyně), kde dochází k celoročnímu nárůstu jižní složky větru, dále podél jihozápadní hranice (Přimda,

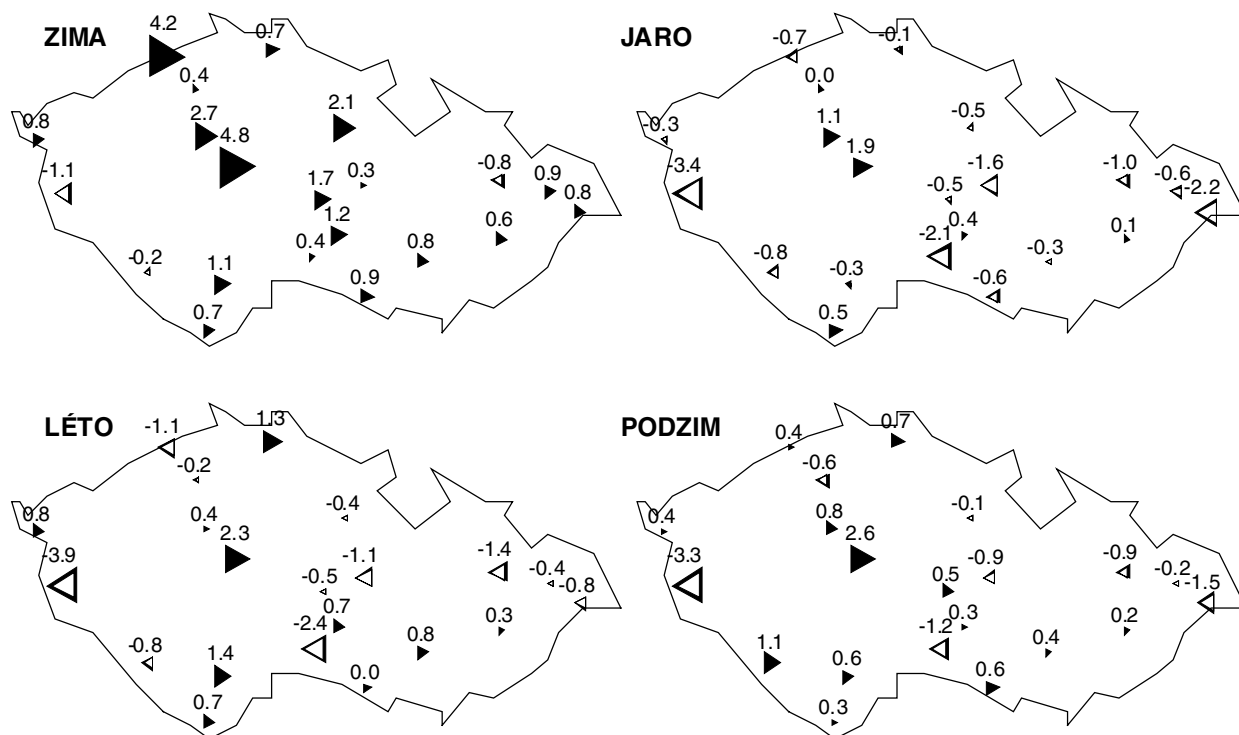
Churáňov, Vyšší Brod) a v Hradci Králové, kde pozorujeme celoroční zeslabení jižní složky větru. Na obou pražských stanicích a s výjimkou jara i na jihovýchodní Moravě zesiluje západní složka větru. Zda se jedná o důsledky dlouhodobých změn atmosférické cirkulace, není jasné; vzhledem k prostorové roztříštěnosti je však rovněž možno předpokládat lokální nemeteorologické vlivy, jako např. postupné změny porostu či zástavby v okolí stanic. Působení nemeteorologických vlivů je velmi pravděpodobné na stanici Praha-Karlov, kde zaznamenáváme nejsilnější trendy obou složek větru ve všech ročních obdobích. V žádném případě však na našem území nepozorujeme zesílení větru vyvolané dlouhodobým pozitivním trendem Severoatlantické oscilace, jež bylo zaznamenáno nad Severním mořem [32, 34], ani zesilování větru, pozorované od poloviny 70. let na italských pobřežních stanicích [31]. Jiné studie zabývající se dlouhodobými trendy přízemního větru v Evropě nejsou autorům známy.

4.3. Vlhkost, oblačnost, sluneční svit

Trendy relativní vlhkosti, oblačnosti a slunečního svitu (obr. 9 až 11) jsou konzistentní spolu navzájem a dobře odpovídají i trendům teploty a její denní amplitudy: roční období s rostoucí teplotou a převažujícím růstem její denní amplitudy (zima, jaro) se vyznačují rovněž převládajícím prodloužením slunečního svitu, zmenšujícím se oblačností a poklesem relativní vlhkosti. Naopak na podzim, kdy teplota a její denní amplituda klesají, zaznamenáváme zkracování slunečního svitu a nárůst oblačnosti i relativní vlhkosti. Za zmínku stojí, že na jedné stanici (Havlíčkův Brod) pozorujeme ve všech sezonách nárůst oblačnosti, zatímco na Milešovce oblačnost se ve všech sezonách zmenšuje.

V mnoha oblastech světa dochází k nárůstu oblačnosti, doprovázenému zkracováním doby slunečního svitu (např. [1,

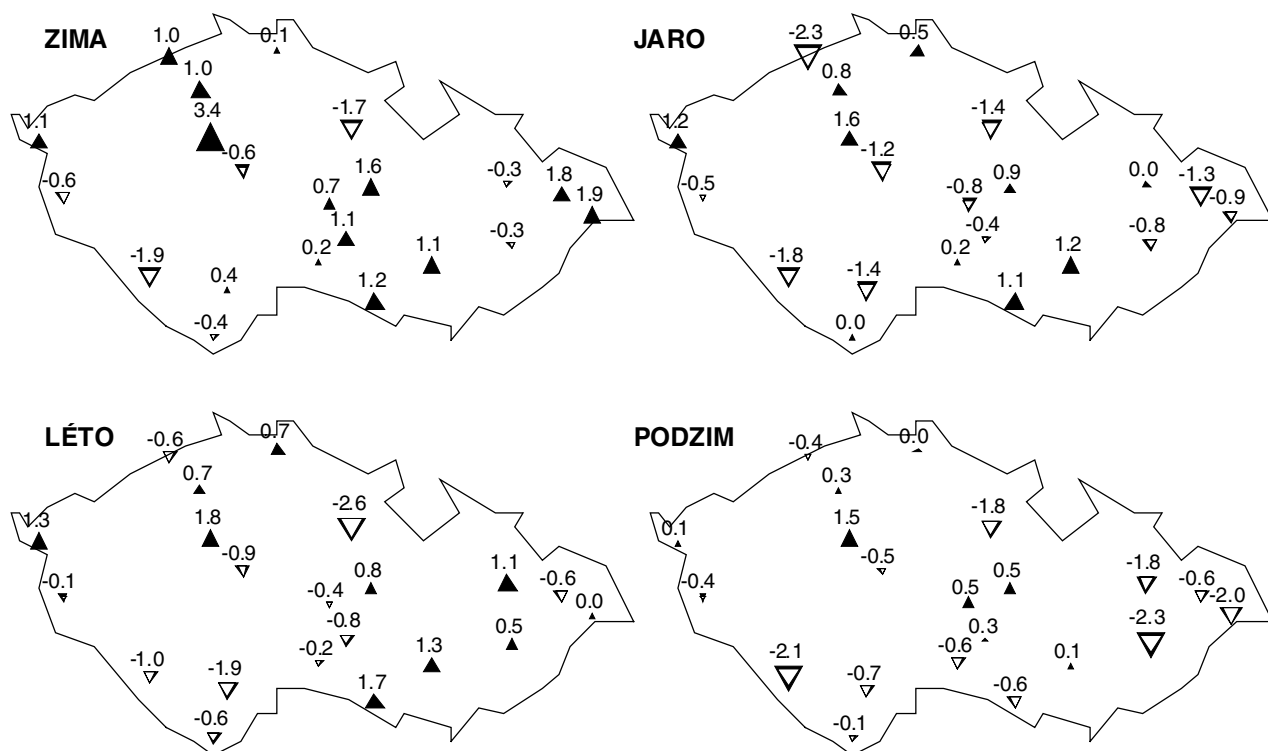
ZONÁLNÍ VÍTR



Obr. 7 Trendy zonálního větru. Zesílení (zeslabení) zonální složky větru od západu je vyznačeno plným (prázdným) trojúhelníkem směřujícím vpravo (vlevo).

Fig. 7. Zonal wind trends. Strengthening (weakening) of the westerly wind component is denoted by a full (empty) triangle pointing to the right (left).

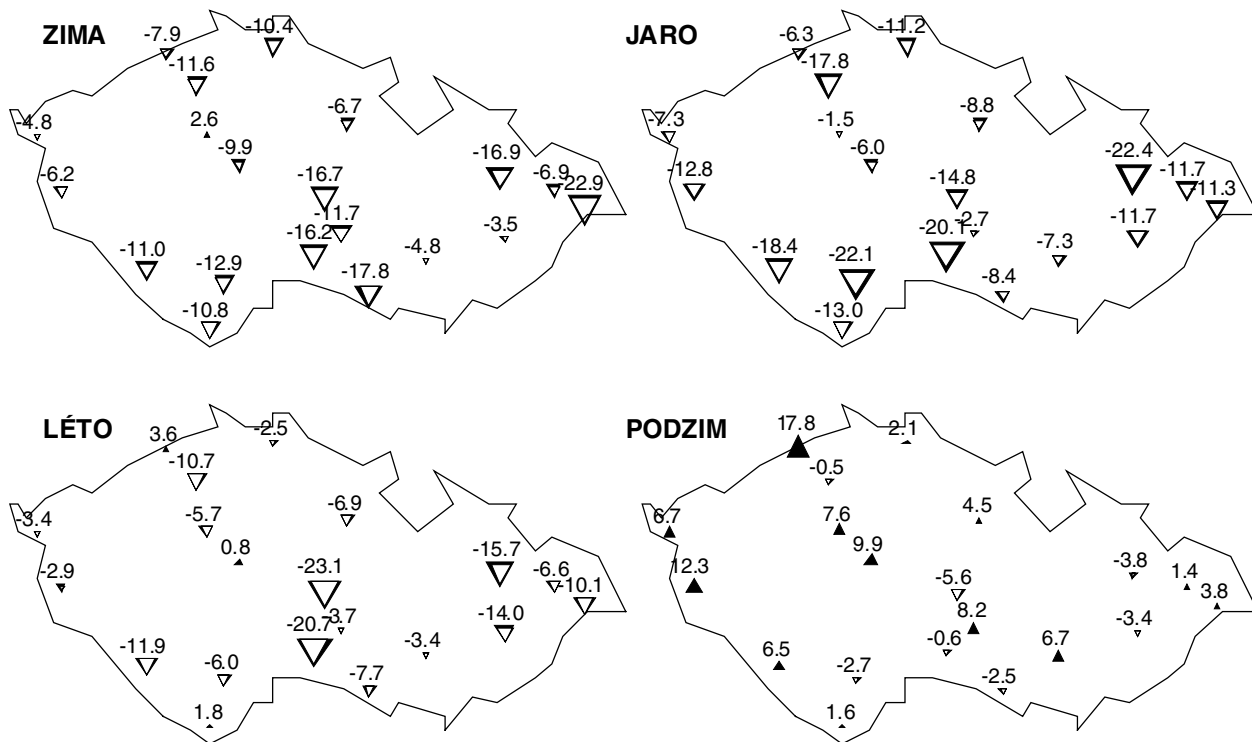
MERIDIONÁLNÍ VÍTR



Obr. 8 Trendy meridionálního větru. Zesílení (zeslabení) meridionální složky větru od jihu je vyznačeno plným (prázdným) trojúhelníkem směřujícím nahoru (dolů).

Fig. 8. Meridional wind trends. Strengthening (weakening) of the southerly wind component is denoted by a full (empty) triangle pointing upward (downward).

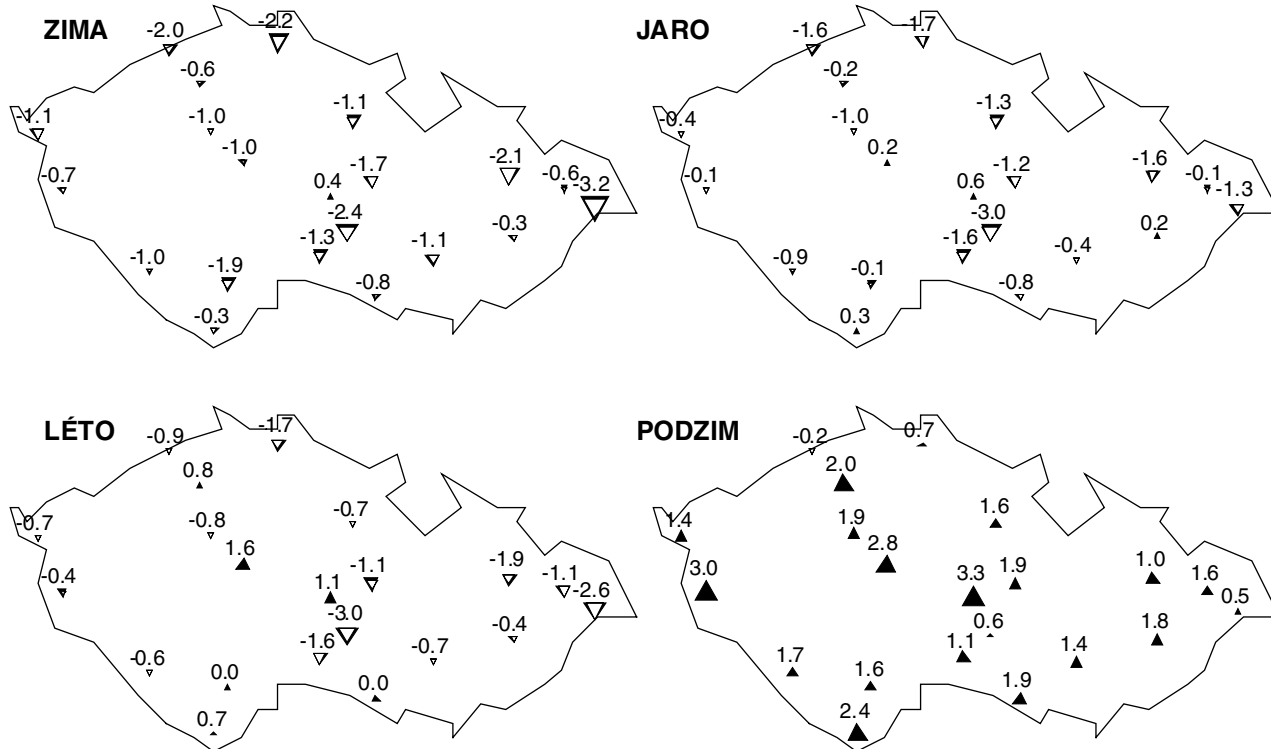
RELATIVNÍ VLHKOST



Obr. 9 Trendy relativní vlhkosti; jinak jako na obr. 3.

Fig. 9. As in Fig. 3, except for relative humidity.

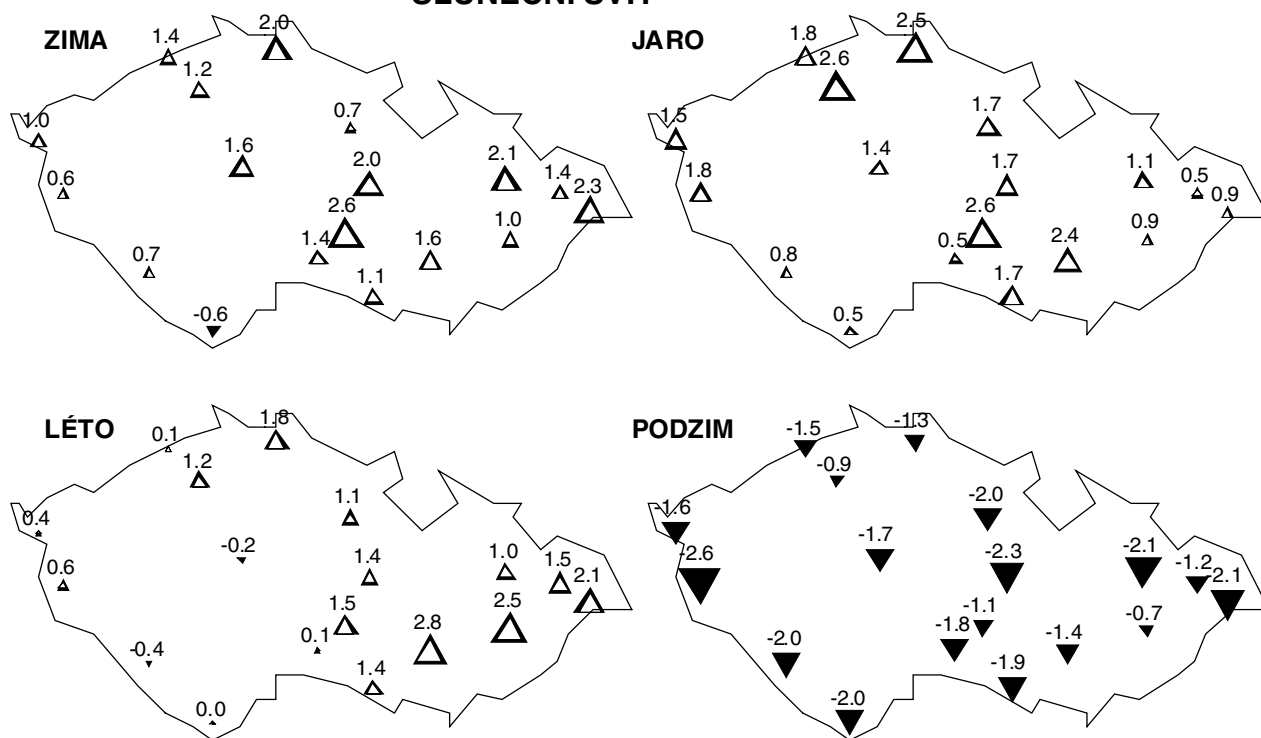
OBLAČNOST



Obr. 10 Trendy oblačnosti; jinak jako na obr. 3.

Fig. 10. As in Fig. 3, except for cloudiness.

SLUNEČNÍ SVIT



Obr. 11 Trendy délky trvání slunečního svitu. Prodloužení (zkrácení) slunečního svitu je vyznačeno prázdným (plným) trojúhelníkem směřujícím nahoru (dolů).

Fig. 11. Sunshine duration trends. Lengthening (shortening) of the sunshine duration is denoted by an empty (full) triangle pointing upward (downward).

3, 29]). V České republice pozorujeme odlišný obraz: trvání slunečního svitu se v zimě, na jaře a v létě prodlužuje (přičemž nejvíce stanic zaznamenává nenulový trend v zimě) a oblačnost se zmenšuje; ke zkracování slunečního svitu a nárůstu oblačnosti dochází jen na podzim. Srovnání s jinými studii trendů oblačnosti a slunečního svitu ve střední a východní Evropě není dost dobře možné, neboť tyto studie se od naší liší zkoumaným obdobím, jež končí přinejlepším koncem 80. let [5], zabývají se ročními, ne sezonními trendy [38, 39] nebo zkoumají specifické druhy oblaků, ne celkové pokrytí oblačností [21, 35, 36]. Studie končící v 80. letech ukazují na tendenci ke zkracování doby slunečního svitu a růst oblačnosti v České republice, na Slovensku a v Německu [5, 38, 39]. Nesoulad s našimi výsledky ukazuje na pravděpodobnou nedávnou změnu znaménka trendů oblačnosti a slunečního svitu. Pro relativní vlhkost nejsou žádné studie vhodné ke srovnání autorům známy.

4.4. Srážky

Trendy úhrnů srážek (obr.12) a pravděpodobnosti výskytu srážek (obr.13) jsou ve většině sezon prostorově nekonzistentní; ve všech sezonách nabývají trendy současně obou znamének. Za výjimky mohou být považovány pokles úhrnu srážek na jaře, k němuž dochází na převážné většině stanic, nárůst úhrnu srážek na podzim a zvyšování pravděpodobnosti výskytu srážek na podzim, přičemž jen posledně jmenovaný efekt vykazuje statistickou významnost na více stanicích.

Převažující statistická nevýznamnost trendů srážek souhlasí s mapami sezonních trendů srážkových úhrnů v [33], kde se Česká republika nachází poblíž čáry nulového trendu. Obecně vzato, velká prostorová proměnlivost a převládající statistická nevýznamnost jsou společným rysem trendů srážkových úhrnů i pravděpodobnosti výskytu srážek v různých evropských zemích alespoň v některých sezonách [10, 28, 43].

5. SROVNÁNÍ S OBDOBÍM 1949–1980

Je zcela přirozeným důsledkem proměnlivosti klimatu, že lineární trendy klimatických prvků se liší, jsou-li počítány pro různá časová období – viz např. [30, 43]. Zde budeme tuto skutečnost ilustrovat srovnáním našich výsledků s obdobím 1949–1980 z práce [16], jež se zabývala trendy v zimě a v létě na dvou stanicích: Milešovce a Praha-Klementinu. Přímé srovnání je proto možné jen pro Milešovku, zatímco trendy pro Prahu-Klementinu mohou být s určitou mírou nejistoty porovnány se stanicí Praha-Karlov, zařazenou do této studie.

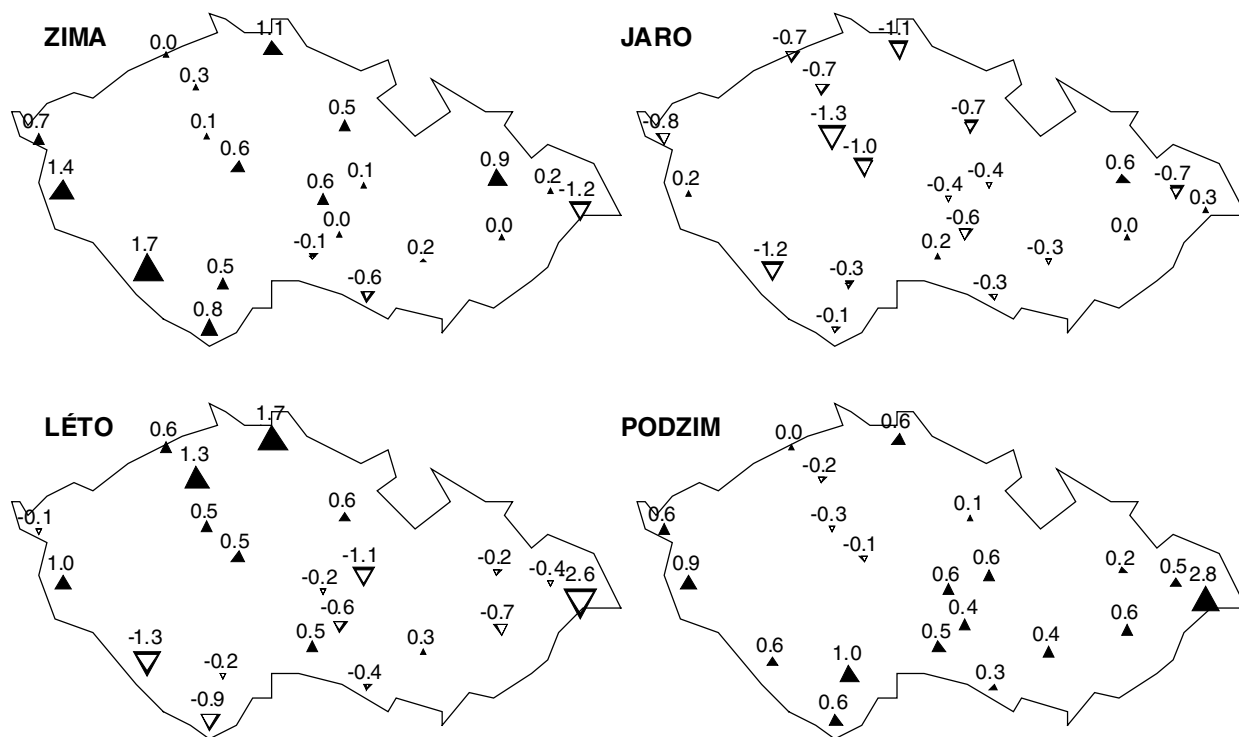
Výsledek srovnání ukazuje tab. 3. Je zřejmé, že v obou sezonách na obou stanicích jsou trendy teploty větší v pozdějším období: zimní oteplování se urychlilo a letní ochlazování se změnilo na oteplování. Pokles denní amplitudy teploty se změnil na nárůst s výjimkou Prahy v létě, kde slabý pokles trvá i v období 1961–1998. Konzistentní změny trendů se objevují i u zonálního větru: tendence k zesilování západního (zeslabování východního) proudění je více vyjádřena v pozdějším období. Trendy oblačnosti se změnily z převážně kladných na více záporné (s výjimkou Prahy v zimě) a v souladu s tím se zkracování doby slunečního svitu změnilo na prodloužování.

6. VLIV NEHOMOGENITY NĚKTERÝCH STANIC

Tři ze zkoumaných stanic změnilo během zkoumaného období svou polohu (podle [12]; viz tab.1): České Budějovice v roce 1976, Praha-Ruzyně v roce 1976 a Liberec v roce 1990. Tyto stanice byly do naší studie zařazeny záměrně, aby bylo možno ukázat, jaký vliv na trendy a jejich prostorovou konzistentnost může mít nehomogenita pozorování.

Lze očekávat, že přemístění stanice může mít vliv zejména na teplotu a zprostředkovaně i na denní amplitudu teploty a relativní vlhkost. Možné je i ovlivnění směru a rychlosti větru. Na srážkový úhrn může mít přemístění stanice vliv

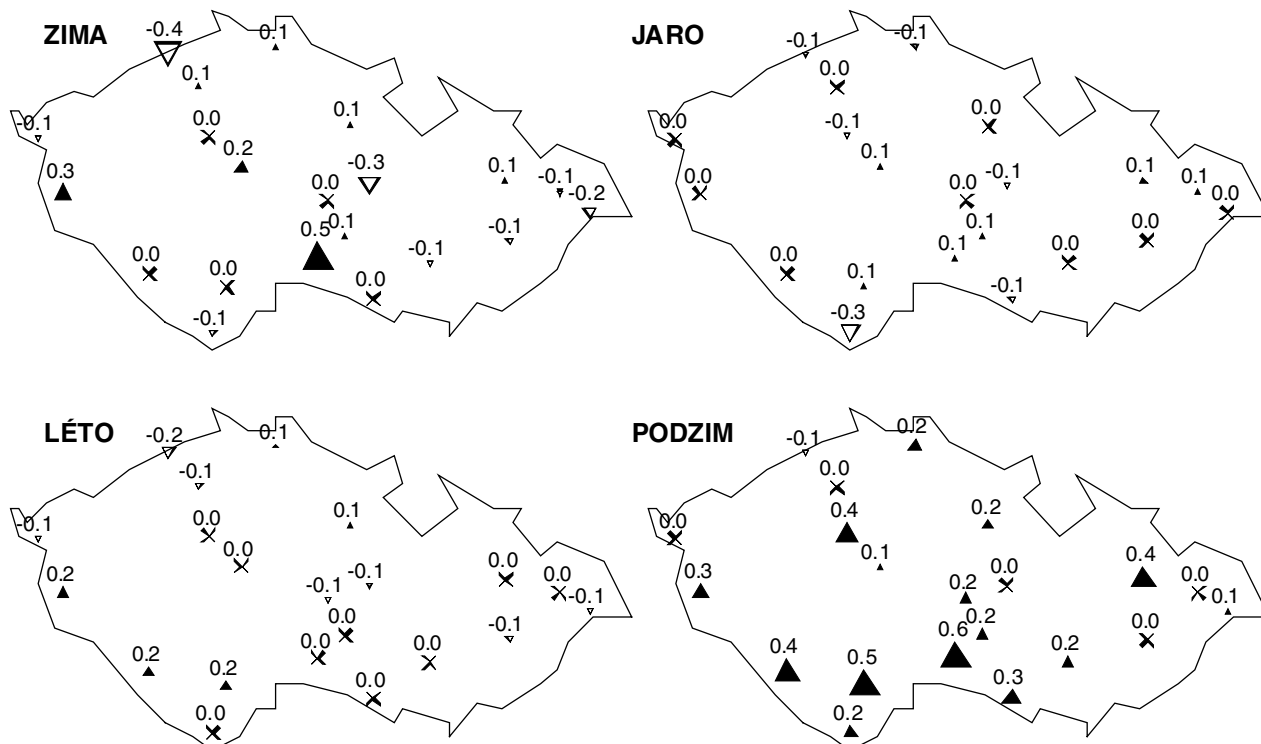
ÚHRN SRÁŽEK



Obr. 12 Trendy úhrnů srážek; jinak jako na obr. 3.

Fig. 12. As in Fig. 3, except for precipitation amount.

PRAVDĚPODOBNOST VÝSKYTU SRÁŽEK



Obr. 13 Trendy pravděpodobnosti výskytu srážek; jinak jako na obr. 3; navíc je nulový trend vyznačen ležatým křížkem.

Fig. 13. As in Fig. 3, except for precipitation probability. Zero trend is denoted by a cross.

Tab. 3 Trendy (za století) některých prvků za období 1949–1980 a 1961–1998 v zimě a létě na Milešovce a na dvou pražských stanicích: Klementinum pro 1949–1980, Karlov pro 1961–1998. Všechny trendy jsou počítány regresní metodou. Sluneční svit není v Klementinu měřen.

Table 3. Trends (per century) of selected elements during periods 1949–1980 and 1961–1998 in winter and summer at Milešovka and two stations in Prague: Klementinum for 1949–1980, Karlov for 1961–1998. All trends are calculated by linear regression. Sunshine duration is not recorded at Klementinum.

	Zima				Léto			
	Milešovka		Praha		Milešovka		Praha	
	1949–80	1961–98	1949–80	1961–98	1949–80	1961–98	1949–80	1961–98
max. teplota	+1.2	+5.9	+3.8	+6.6	-3.8	+1.9	-5.6	+2.5
min. teplota	+3.1	+4.9	+5.1	+5.6	-0.8	+1.6	-0.4	+3.5
denní ampl. teploty	-1.9	+1.1	-1.4	+1.0	-3.0	+0.3	-5.2	-1.0
zon. vítr	-5.9	+1.9	+2.1	+3.9	-2.6	-1.1	+5.2	+2.2
merid. vítr	+2.2	+1.4	+2.3	-0.3	-4.6	-0.9	-4.9	-0.9
relat. vlhkost	+4.0	-9.4	-3.3	-7.2	-0.1	+4.5	+4.5	+2.3
oblačnost	+1.1	-1.9	-1.4	-1.1	+0.9	-1.0	+2.9	+1.3
sluneč. svit	-1.0	+1.1		+1.7	-5.1	+0.1		-0.1
pravděpod. srážek	+0.4	-0.3	+0.1	+0.2	-0.1	-0.2	-0.0	+0.0

tehdy, docházelo-li buď před přesunem, nebo po něm k ovlivnění měření lokálními efekty, jako např. srážkovým stínem budov, nebo změnila-li se drsnost povrchu v okolí srážkoměru. Naproti tomu nepravděpodobný či nemožný je vliv přemístění stanice na dobu trvání slunečního svitu, oblačnost a výskyt srážek. Do měření slunečního svitu jsou nemohogennity vnášeny změnami kvality slunoměrných pásek, zatímco homogenita měření oblačnosti bývá porušena výměnami pozorovatelů [29].

Lze říci, že ani jedna z přemístěných stanic se hodnotami naprosté většiny trendů výrazně neodlišuje od ostatních stanic. Výjimkou je minimální teplota v Liberci, jejíž trend je s výjimkou zimy výrazně nižší (zápornější) než na většině území. Obdobné tvrzení platí i pro Prahu-Ruzyni. Markantní jsou rozdíly teplotních trendů mezi Ruzyní a nejbližší stanicí, Prahou-Karlovem – podle nich však věrohodnost trendů na Ruzyni nelze posuzovat. Důvodem je jednak skutečnost, že měření na Karlově mohou být ovlivněna zesilováním městského tepelného ostrova, jednak to, že trendy se mezi těmito blízkými stanicemi značně liší i pro proměnné, pro něž přesun stanice a tepelný ostrov nehrají žádnou roli, jako např. pro oblačnost v létě.

7. ZÁVĚR

Trendy 11 klimatických prvků na 21 českých stanicích v období 1961–1998 jsou v dobré shodě s literaturou. Ukazuje se, že oteplování (maximální, minimální i průměrné denní teploty) je nejsilnější v zimě, kdy na některých stanicích pro maximální teplotu přesahuje 6 °C za století. Na jaře a v létě je oteplování slabší, na podzim oproti tomu dochází k ochlazení. Nejvíce statisticky významných trendů teploty se však vyskytuje v létě, což je dáno menší meziroční proměnlivostí klimatu v tomto ročním období. V zimě, na jaře a v létě je na většině území ČR pozorován nárůst denní amplitudy teploty; k jejímu poklesu dochází jen na podzim.

Konzistentní se změnou teploty a amplitudy teploty jsou změny slunečního svitu, jenž se až na výjimky prodlužuje ve všech sezónách kromě podzimu, oblačnosti – s výjimkou podzimu pozorujeme na většině stanic pokles pokrytí oblačností – a relativní vlhkosti. Trendy srážek a složek větru většinou nejsou prostorově a sezonně konzistentní, a rovněž jsou až na výjimky statisticky nevýznamné.

Srovnání s trendy v období 1949–1980 naznačuje, že v létě i v zimě oteplování v ČR sílí; rovněž posiluje i tendence k prodlužování doby slunečního svitu.

Do studie byly zařazeny i tři stanice, jež byly v analyzova-

ném období přemístěny. Ukazuje se, že až na minimální teplotu trendy na těchto stanicích nijak nevybočují z celkového obrázku získaného pro celou ČR. Lze proto v této souvislosti říci, že při analýzách trendů většího množství proměnných na větším množství stanic není nutno úzkostlivě dbát na homogenitu měření na jednotlivých stanicích, neboť prostorová proměnlivost trendů se zdá být tak velká, že skryje i případné odchylky způsobené změnou polohy stanic.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory Grantové agentury ČR v rámci projektů A3017301 a B3042004.

Literatura

- [1] ABAKUMOVA, G.M. – FEIGELSON, E.M., – RUSSAK, V. – STADNIK, V.V., 1996. Evaluation of long-term changes in radiation, cloudiness, and surface temperature on the territory of the former Soviet Union. *Journal of Climate*, Vol. **9**, s. 1319–1327.
- [2] AKSOY, B., 1999. Analysis of changes in sunshine duration data for Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **64**, s. 229–237.
- [3] ANGELL, J.K., 1990. Variation in United States cloudiness and sunshine duration between 1950 and the drought year of 1988. *Journal of Climate*, Vol. **3**, s. 296–308.
- [4] BRÁZDIL, R. – KOLÁŘ M. – ŽALOUŠÍK J., 1985: Prostorové úhrny srážek na Moravě v období 1881–1980. *Meteorologické Zprávy*, roč. **38**, s. 87–93.
- [5] BRÁZDIL, R. – FLOCAS, A.A. – SAHSAMANOĞLOU H.S., 1994. Fluctuation of sunshine duration in central and south-eastern Europe. *International Journal of Climatology*, Vol. **14**, s. 1017–1034.
- [6] BRÁZDIL, R. – BUDÍKOVÁ, M. – FAŠKO, P. – LAPIN, M., 1995. Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics. *Atmospheric Research*, Vol. **37**, s. 53–65.
- [7] BRÁZDIL, R. – BUDÍKOVÁ, M., – AUER, I. – BÖHM, R. – CEGNAR, T. et al., 1996. Trends of maximum and minimum daily temperatures in central and southeastern Europe. *International Journal of Climatology*, Vol. **16**, s. 765–782.
- [8] BRÁZDIL, R. – MACKOVÁ, J., 1998: Řada průměrných ročních teplot vzduchu pro Českou republiku v období 1828–1995. *Meteorologické Zprávy*, roč. **51**, s. 17–21.
- [9] BRUNETTI, M. – BUFFONI, L. – MAUGERI, M. – NANNI, T., 2000. Trends of minimum and maximum daily

- temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. **66**, s. 49–60.
- [10] BRUNETTI, M. – COLACINO, M. – MAUGERI, M. – NANNI, T., 2001. Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. *International Journal of Climatology*, Vol. **21**, s. 299–316.
- [11] BURGUEÑO, A. – LANA, X. – SERRA, C., 2002. Significant hot and cold events at the Fabra Observatory, Barcelona (NE Spain). *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **71**, s. 141–156.
- [12] COUFAL, L. – LANGOVÁ, P. – MÍKOVÁ, T., 1992: Meteorologická data na území ČR za období 1961-90. 160 s. *Národní klimatický program ČSFR*, sv. 8.
- [13] GAJÍČ-ČAPKA, M. – ZANINOVIČ, K., 1997. Changes in temperature extremes and their possible causes at the SE boundary of the Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **57**, s. 89–94.
- [14] HORTON, B., 1995. Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmospheric Research*, Vol. **37**, s. 101–117.
- [15] HRVOŤ, J. – TOMLAIN, J. – REICHT, J., 1980: Dlhodobé kolísanie žiarenia v Hurbanove. *Meteorologické Zprávy*, roč. **33**, s.147–151.
- [16] HUTH, R., 2001. Disaggregating climatic trends by classification of circulation patterns. *International Journal of Climatology*, Vol. **21**, s. 135–153.
- [17] HUTH, R. – POKORNÁ, L., 2004. Parametric versus non-parametric estimates of climatic trends. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **77**, s.107–112.
- [18] JÖNSSON, P. – FORTUNIAK, K., 1995. Interdecadal variations of surface wind direction in Lund, southern Sweden, 1741–1990. *International Journal of Climatology*, Vol. **15**, s. 447–461.
- [19] KALVOVÁ, J. – BEDNÁŘ, J., 1989: Změny slunečního svitu v Praze v letech 1961–1985. *Meteorologické Zprávy*, roč. **42**, s.97–102.
- [20] KARL, T.R. – JONES, P.D. – KNIGHT, R.W. – KUKLA, G., – GALLO K.P. et al., 1993. A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. **74**, s. 1007–1023.
- [21] KEEVALLIK, S. – RUSSAK, V., 2001. Changes in the amount of low clouds in Estonia. *International Journal of Climatology*, Vol. **21**, s. 389–397.
- [22] KVĚTOŇ, V., 1983: Dlouhodobé změny délky slunečního svitu v západočeské lázeňské oblasti. *Meteorologické Zprávy*, roč. **36**, s. 43–47.
- [23] LANZANTE, J.R., 1996. Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *International Journal of Climatology*, Vol. **16**, s. 1197–1226.
- [24] LIEPERT, B.G., 1997. Recent changes in solar radiation under cloudy conditions in Germany. *International Journal of Climatology*, Vol. **17**, s. 1581–1593
- [25] LIEPERT, B.G., – KUKLA, G.J., 1997. Decline in global solar radiation with increased horizontal visibility in Germany between 1964 and 1990. *Journal of Climate*, Vol. **10**, s. 2391–2401.
- [26] MÜLLER-WESTERMEIER, G., 1992. Untersuchung einiger langer deutscher Temperaturreihen. *Meteorologische Zeitschrift, Neue Folge* **1**, s. 155–171.
- [27] NICHOLLS, N., 2001. The insignificance of significance testing. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. **82**, s. 981–986.
- [28] OSBORN, T.J. – HULME, M. – JONES, P.D. – BASNETT, T.A., 2000. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *International Journal of Climatology*, Vol. **20**, s. 347–364.
- [29] PALLÉ, E. – BUTLER, C.J., 2002. Comparison of sunshine records and synoptic cloud observations: a case study for Ireland. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. **27**, s. 405–414.
- [30] PIELKE, R.A. sr. – STOHLGREN, T. – SCHELL L. – PARTON, W., – DOESKEN, N., 2002. Problems in evaluating regional and local trends in temperature: An example from eastern Colorado, USA. *International Journal of Climatology*, Vol. **22**, s. 421–434.
- [31] PIRAZZOLI, P.A. – TOMASIN, A., 2003. Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas. *International Journal of Climatology*, Vol. **23**, s. 963–973.
- [32] PRYOR, S.C. – BARTHELMIE, R.J., 2003: Long-term trends in near-surface flow over the Baltic. *International Journal of Climatology*, Vol. **23**, s. 271–289.
- [33] SCHÖNWIESE, C.D. – RAPP, J. – FUCHS, T. – DENHARD, M., 1994. Observed climate trends in Europe 1891–1990. *Meteorologische Zeitschrift, Neue Folge*, H. **3**, s. 22–28.
- [34] SIEGISMUND, F. – SCHRUM, C., 2001. Decadal changes in the wind forcing over the North Sea. *Climate Research*, Vol. **18**, s. 39–45.
- [35] SUN, B. – GROISMAN, P.Y., 2000. Cloudiness variations over the former Soviet Union. *International Journal of Climatology*, Vol. **20**, s. 1097–1111.
- [36] SUN, B. – GROISMAN, P.Y. – MOKHOV, I.I., 2001. Recent changes in cloud-type frequency and inferred increases in convection over the United States and the former USSR. *Journal of Climate*, Vol. **14**, s. 1864–1880.
- [37] ŠAMAJ, F. – VALOVIČ, Š., 1980: Dlhodobé trendy zrážok na Slovensku. *Meteorologické Zprávy*, roč. **33**, s.138–142.
- [38] WEBER, G.R., 1990. Spatial and temporal variation of sunshine in the Federal Republic of Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **41**, s. 1–9.
- [39] WEBER, G.R., 1994. On the seasonal variation of local relationships between temperature, temperature range, sunshine and cloudiness. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **50**, s. 15–22.
- [40] WEBER, R.O. – TALKNER, P. – STEFANICKI, G., 1994. Asymmetric diurnal temperature change in the Alpine region. *Geophysical Research Letters*, Vol. **21**, s. 673–676.
- [41] WEBER, R.O., – TALKNER, P. – AUER, I. – BÖHM, R. – GAJÍČ-ČAPKA M. et al., 1997. 20th-century changes of temperature in the mountain regions of central Europe. *Climatic Change*, Vol. **36**, s. 327–344.
- [42] WIBIG, J. – GŁOWICKI, B., 2002. Trends in minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research*, Vol. **20**, s. 123–133.
- [43] WIDMANN, M. – SCHÄR, C., 1997. A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. *International Journal of Climatology*, Vol. **17**, s. 1333–1356.

Lektor RNDr. L. Němec článek doporučil s výhradou k poslední větě uvedené v kapitole 7 (závěr), upravený rukopis odevzdán v září 2004.

ALGORITMUS PRO NALEZENÍ OPTIMÁLNÍ LAMBERTOVY MAPY PRO PŘEDPOVĚDNÍ MODEL NA OMEZENÉ OBLASTI

Optimum choice of Lambert's chart algorithm for limited-area forecast model. The paper gives the description of the iterative algorithm for choice of optimum value of a basic parameter K of optimum Lambert conformal chart for the rectangle domain. An optimum chart which is done by parameter K is understood such a map where linear distortion is changed minimally. The position of the rectangle domain is determined by geographic coordinates of the central point of the north side of the rectangle. The size of the rectangle domain is given by numbers of grid points M, N of the rectangle mesh and by uniform mesh spacing on this Lambert conformal map. The size of the rectangle domain is given implicitly, as it is given on the Lambert map which we want to find. For that reason we will find the optimum value of the parameter K and the real size of the domain by iteration process.

KLÍČOVÁ SLOVA: modely předpovědní – zobrazení kartografická – mapa konformní Lambertova - algoritmus výpočtu – parametry optimální mapy

ÚVOD

Tento článek navazuje na dva předchozí články autora [1] a [2], které byly publikovány v Meteorologických zprávách v roce 2002 pod souhrnným názvem Optimalizace geografie LAM, kde jsou kartografická zobrazení definována a je analyzován problém optimálního Lambertova zobrazení. Předložený článek je praktickou aplikací předchozí teorie, v němž je prezentován iterační algoritmus řešení daného problému na počítači.

V současné době je vyvíjeno nebo již využíváno více meteorologických předpovědních modelů pracujících na omezené, obvykle obdélníkové oblasti konformní mapy. Jejich úkolem je pro daný region zpřesnit předpověď globálních předpovědních modelů, které vzhledem k výkonnosti současné výpočetní techniky nemohou provádět výpočty na tak jemné síti, na jaké bychom si to přáli. V České republice pro zpřesnění předpovědi počasí globálního modelu ARPEGE Francouzské meteorologické služby je používán meteorologický model ALADIN. Tento model je používán nejen provozně pro krátkodobou předpověď počasí, ale slouží též k různým výzkumným úkolům, například pro modelování klimatu. Pro tyto účely je třeba měnit velikost a polohu výpočetní oblasti i rozlišení modelu.

Abyste výpočetní oblast na zeměkouli, ne jen na mapě, byla rovnoměrně pokryta výpočetní sítí, je třeba, aby zkreslení mapy v celé oblasti bylo co nejmenší. Připomeňme, že toto zkreslení $m(x, y)$ je dáno jako poměr délkového elementu na mapě ku jeho skutečné délce na Zemi [1]. Toto zkreslení je funkcí zeměpisné šířky, a proto je funkcí ortogonálních souřadnic x, y v rovině mapy. Volbou parametru K Lambertovy mapy docílíme, že pro danou oblast je poměr maximální hodnoty koeficientu zkreslení ku jeho minimální hodnotě na zadané oblasti co nejmenší. Takovou mapu nazýváme optimální mapou [2].

Všimněme si, jaké jsou pro volbu výpočetní sítě možnosti. Pro velké oblasti, obsahující severní nebo jižní pól, je možné zvolit zeměpisnou síť poledníků a rovnoběžek. Tato síť se ovšem směrem k pólu zahušťuje a také zakřivuje, což dělá v modelech značné potíže. Tato síť zeměpisných souřadnic se singularními body souřadnic v pólech se proto používá

většinou pouze pro globální spektrální modely, ve kterých je problém pólů uspokojivě vyřešen. Pro modely na omezené oblasti obsahující pouze jeden z pólů, například severní pól, se dá problém pólů řešit dvěma způsoby. Jedním je rotace systému zeměpisných souřadnic tak, aby po rotaci souřadnic výpočetní oblast již neobsahovala póly souřadného systému. Druhým je použití stereografické projekce, která je konformním zobrazením a byla dříve pro modely na omezené oblasti používána nejčastěji. Jestliže oblast výpočtu neobsahuje pól, není z hlediska proměnnosti koeficientu zkreslení stereografická mapa optimální. Koeficient zkreslení stereografické mapy roste monotonně od pólu, kde nabývá hodnotu 1, k rovníku, kde nabývá hodnotu 2. Zvolíme-li tedy na stereografické mapě síť s krokem 100 km, je v oblasti pólu skutečná vzdálenost uzlových bodů na zemi rovněž 100 km, avšak blížíme-li se k rovníku, klesá skutečná vzdálenost uzlů sítě na polovinu, tedy na 50 km. Modely německé meteorologické služby, aby dosáhly pokud možno rovnoměrné sítě, používají rotované zeměpisné souřadnice. Zeměpisné souřadnice na Zemi otočí tak, aby oblast kterou popisují ležela v rovníkové oblasti otočené sítě. Toto zobrazení není ovšem konformní a navíc obdélníková oblast v otočených souřadnicích je po zobrazení na některou z běžných map zakřivená na západním a východním kraji směrem k jihu. Neobsahuje-li oblast severní pól, je nejvýhodnější Lambertova konformní mapa s optimální volbou parametrů. Pro spektrální metodu použitou v modelu na omezené oblasti, jako je ALADIN, je malé zkreslení mapy na celé oblasti zvláště důležité.

Některé numerické metody mají určité požadavky na počty uzlů výpočetní sítě. Například cyklická redukce pro řešení soustav lineárních rovnic semiimplicitního schématu požaduje, aby počet uzlových bodů ve směru jedné ze souřadnicových os byl roven součinu mocnin čísel 2, 3 a 5. Pro spektrální metodu použitou v modelu ALADIN, která při transformaci do spektrálního prostoru používá rychlou Fourierovu transformaci FFT, vyvinutou C. Tempertonem v ECMWF v Readingu, požaduje, aby počet uzlových bodů ve směru obou os souřadnic byl sudý a byl součinem mocnin čísel 2, 3, 5. Čísla M, N musí mít tedy tvar $2^I \times 3^J \times 5^K$, kde I, J, K jsou celá kladná čísla a $I \geq 1$. Proto je výhodné

velikost oblasti zadávat počtem uzlových bodů ve směru os M , N a délkou kroku v síti h , což je v současných modelech obvyklé. Výpočet optimálních parametrů Lambertovy mapy je pro takto zvolenou síť, a tedy i výpočetní obdélníkovou oblast, dosti náročný, proto je účelné, tuto úlohu řešit pomocí počítače. Předložený algoritmus a program je nástrojem pro snadné vyřešení předloženého úkolu. Postup řešení je následující. Na běžně dostupné mapě si přibližně vybereme polohu a velikost oblasti. Oblast je určena pěti údaji, které vložíme do počítače a ten nám pomocí předloženého algoritmu dá ihned optimální řešení.

V předchozí práci [2] byl dán teoretický základ pro řešení této optimalizační úlohy. Úloha byla přesně formulována. Řešení této úlohy vycházelo ze studia průběhu funkce zkreslení mapy $m(x, y)$, jakožto funkce zeměpisné šířky a jejích maximálních a minimálních hodnot vzhledem k této proměnné. Funkce zkreslení mapy $m(\varphi)$ nabývá na rovnoběžce všude stejnou hodnotu, je tedy na rovnoběžkách konstantní a jako funkce φ nabývá svého minima rovného 1 na rovnoběžce φ_0 . Na této rovnoběžce se kužel, na který povrch Země zobrazujeme, dotýká povrchu Země. Od této rovnoběžky směrem k severu i jihu se koeficient zkreslení zvětšuje. Maximální a tedy stejné hodnoty pro optimálně zvolené zobrazení nabývá koeficient zkreslení v nejsevernějším a nejižnějším bodě oblasti, tedy ve středu severní strany obdélníka a v jihozápadním a jihovýchodním rohu obdélníkové oblasti. Tato podmínka je ovšem také postačující, aby Lambertova konformní mapa byla optimální.

Pro obdélníkovou oblast zadanou zeměpisnými souřadnicemi středu severní strany a jihozápadního rohu bylo v práci [2] předloženo jednoduché řešení tohoto problému. Toto řešení však nebralo v úvahu požadavky na výpočetní síť. Problém spočívá v tom, že do zvoleného obdélníku se pravidelná čtvercová síť s ještě dalšími požadavky na počty uzlových bodů nedá snadno vepsat.

Polohu a velikost obdélníkové oblasti proto zadáváme následovně. Polohu oblasti určíme zadáním základního poledníku λ_0 a zeměpisnou šířkou φ_S středu severní strany obdélníka. Tyto dva údaje jsou zadány zeměpisnými souřadnicemi, a proto na volbě mapy nezávisí. Při zadávání velikosti obdélníkové oblasti vycházíme z počtu uzlových bodů N a M ve směru osy x a y . Zadáním délky kroku v síti h pak máme danu velikost obdélníka. Délky jeho stran na mapě pak jsou $(N-1)h$ a $(M-1)h$. Problém však spočívá v tom, že délka kroku v síti není skutečnou vzdáleností mezi dvěma uzlovými body na Zemi, ale vzdáleností na mapě a ta je závislá na zkreslení mapy. My však mapu, na které je oblast takto zadána, předem neznáme, protože ji chceme zvolit optimálně podle zadané oblasti. Proto je oblast i mapa zadána jaksi „implicitně“ a oba tyto úkoly musíme řešit najednou.

OZNAČENÍ A VZTAHY POUŽITÉ V PRÁCI

Označení i vztahy vycházejí z článku [2] pojednávajícího o optimalizaci parametru K Lambertova konformního zobrazení. Pro pohodlí čtenáře shrneme několik nejdůležitějších označení a vztahů používaných v textu týkajících se Lambertovy konformní mapy.

Další text se týká výhradně konformní Lambertovy mapy, která zobrazuje zemskou sféru na kužel, který se dotýká sféry na rovnoběžce o zeměpisné šířce φ_0 , neboli rovnoběžky o úhlové pólové vzdálenosti $\theta_0 = 90 - \varphi_0$. Základní parametr mapy K je se zeměpisnou šířkou φ_0 svázán vztahem $K = \sin \varphi_0 = \cos \theta_0$. Pro určení polohy obdélníkové oblasti zvolíme jeden poledník

o zeměpisné délce λ_0 , který nazveme základním. Tento poledník bude procházet středem zobrazované výpočetní oblasti. Pro popis Lambertova zobrazení zvolíme v rovině mapy soustavu pravouhlých souřadnic tak, že osa y bude splývat s obrazem poledníku λ_0 a bude orientována na sever. Osa x bude k ní kolmá s kladným směrem orientace k východu. Dále zvolíme soustavu polárních souřadnic tak, že úhel γ měříme od obrazu poledníku λ_0 a poloměr r je vzdálenost od vrcholu rozvinutého kužele, který je obrazem severního pólu. Lambertovo konformní zobrazení přiřazuje bodu o křivočarých souřadnicích (λ, θ) bod v rovině mapy o polárních souřadnicích (γ, r) daný vztahy

$$\gamma = K \cdot (\lambda - \lambda_0) \quad (1)$$

$$r = C \left(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^K \quad (2)$$

kde jsme písmenem C označili konstantu

$$C = \frac{r_0}{\left(\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} \right)^K} \quad (3)$$

a kde podle [2] (1.7) je

$$r_0 = \frac{a}{K} \sin \theta_0 = a \operatorname{tg} \theta_0 \quad (4)$$

a kde $a = 6371.229$ km je poloměr referenční sféry Země.

Přechod od polárních ke kartézským souřadnicím na mapě je pak dán vztahy

$$x = r \sin \gamma, \quad y = y_0 - r \cos \gamma \quad (5)$$

kde γ a r jsou dány vztahy (1) a (2). Protože pro severní pól je $r = 0$ je souřadnice severního pólu rovna $y = y_0$. Volíme-li tedy počátek souřadnic v obrazu vrcholu V , tedy v počátku polárních souřadnic je $y_0 = 0$.

Obrácenou transformaci souřadnic, tj. výpočet souřadnic (λ, θ) ze souřadnic (x, y) , vyjádříme následovně. Umocněním a sečtením vztahů (5) dostaneme pro pólovou vzdálenost na mapě (polární souřadnici r)

$$r = \sqrt{x^2 + (y_0 - y)^2} \quad (6)$$

Ze vztahu (2) pak máme

$$\theta = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{r}{C} \right)^{\frac{1}{K}}, \quad (7)$$

který při výpočtech realizuje vztahem

$$\theta = 2 \operatorname{arctg} \exp \frac{1}{K} \ln \frac{r}{C} \quad (8)$$

Pro úhel γ máme

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{x}{y_0 - y} \quad (9)$$

Protože v dalších úvahách předpokládáme, že severní pól neleží v naší zobrazované oblasti, je v předchozím vztahu jmenovatel vždy různý od nuly. Ze vztahu (1) pak vypočteme

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{\gamma}{k} \quad (10)$$

ZADÁNÍ OBLASTI

Obdélníkovou oblast na Lambertově mapě, jejíž strany jsou rovnoběžné s osami x , y , symetrickou vzhledem k ose y , určíme následujícími údaji:

1. Zeměpisnou délkou základního poledníku λ_0 , jehož obraz na mapě splývá s osou y a určuje tedy směr os kartézské soustavy x , y v rovině mapy.
2. Zeměpisnou šířkou φ_S nejsevernějšího bodu oblasti. Tento bod je průsečíkem severní strany obdélníka s poledníkem λ_0 , tedy s osou y .
3. Délkou kroku regulární sítě na mapě, kterou tvoří průsečíky rovnoběžek s osami x, y , který označme h .
4. Počtem uzlových bodů ve směru osy x , který označme N . Délka severní a jižní strany obdélníka je pak rovna $(N-1)h$.
5. Počtem uzlových bodů ve směru osy y , který označme M . Délka západní a východní strany obdélníka je pak rovna $(M-1)h$.

VÝPOČET OPTIMÁLNÍCH PARAMETRŮ LAMBERTOVY MAPY

Pro výpočet budeme místo zeměpisné šířky φ používat pro určení polohy bodů pólouhou úhlovou vzdálenost θ . V programu pro počítač budeme zeměpisné šířku zadávat ve stupních. Pólouhou úhlovou vzdálenost však budeme používat v obloukové míře, tedy v radiánech. Důvodem k tomu je skutečnost, že argumenty goniometrických funkcí jsou v programu zadávány v obloukové míře. Proto při přechodu od φ na θ a zpět bude používat vztahy

$$\begin{aligned} \theta &= (90 - \varphi) \times \pi / 180 \\ a \\ \varphi &= 90 - \theta \times 180 / \pi \end{aligned} \quad (11)$$

Označme proto θ_S pólouhou úhlovou vzdálenost nejsevernějšího bodu oblasti.

Oblast na Lambertově mapě i k ní příslušné optimální zobrazení jsou v podstatě určeny implicitně. Směr stran obdélníkové oblasti je určen přímo volbou poledníku λ_S a její poloha je dána hodnotou φ_S , resp. θ_S . Rozměry obdélníkové oblasti jsou určeny údaji na optimálně zvolené mapě, jejíž parametr K však neznáme. Optimální hodnota parametru $K = \cos\theta_0$ je naopak dána velikostí a polohou oblasti. Výpočet parametru K a přesné určení obdélníkové oblasti pro výše uvedené zadání oblasti není proto možné určit přímo, jak je to navrženo v části [2].

Nalezení optimálního parametru K a určení velikosti oblasti provedeme proto následujícím iteračním procesem, který se skládá z dvou kroků :

1. Na Lambertově konformní mapě, která je l -tým přiblížením optimální Lambertovy konformní mapy a je dána parametrem $K^{(l)} = \sin\varphi_0^{(l)}$, určíme polohu a velikost obdélníkové oblasti. Její poloha je dána úhlovou pólouhou vzdáleností středu severní strany a je označena θ_S . Tato hodnota je pevně zvolena ve vstupních údajích a při iteračním výpočtu se nemění. Poznamenejme, že střed severní strany je nejsevernějším bodem obdélníkové oblasti. Velikost oblasti je zadána počtem uzlových bodů a délkou kroku v síti h . Velikost sítě a tedy velikost oblasti je zadána na

mapě a závisí tedy na parametru $K^{(l)}$. Vzdálenost jihozápadního rohu obdélníka na této mapě r_1 vypočteme podle vztahů (12), který nám určuje pólouhou délkovou vzdálenost středu severní strany na Lambertově mapě

$$r_S = C \left(\operatorname{tg} \frac{\theta_S}{2} \right)^K \quad (12)$$

a Pythagorovy věty, vztahu (13),

$$r_1 = \sqrt{\left(r_S + (M-1)h \right)^2 + \left((N-1)h/2 \right)^2}, \quad (13)$$

který nám vyjadřuje pólouhou délkovou vzdálenost jihozápadního rohu. Ze vztahu (8) pak vypočteme novou pólouhou úhlovou vzdálenost $\theta_1^{(l+1)}$ jihozápadního rohu, a tedy nejjižnějšího bodu obdélníka. Úhlová pólouhá vzdálenost $\theta_1^{(l+1)}$ jihozápadního rohu je údaj na mapě nezávislý. Pomocí tohoto údaje nalezneme v druhém kroku iteračního procesu hodnotu K a pak v dalším prvním kroku iteračního procesu nové rozměry oblasti v $l+1$ -ní iteraci.

2. Pro oblast s hodnotami úhlové pólouhy vzdálenosti θ_S a $\theta_1^{(l+1)}$ není parametr $K^{(l)}$ optimálně zvolen, neboť velikost oblasti byla definována mapou z předchozího iteračního kroku. Proto vypočteme nové přesnější přiblížení hodnoty K . Tuto novou hodnotu $K^{(l+1)}$ vypočteme z hodnot pólouhových úhlových vzdáleností θ_S a $\theta_1^{(l+1)}$ z podmínky, že v těchto dvou bodech musí mít koeficient zkreslení mapy stejnou hodnotu. Nová hodnota $K^{(l+1)}$ je pak dána vztahem (14).

$$K = \frac{\ln(\sin \theta_S / \sin \theta_1)}{\ln\left(\operatorname{tg} \frac{\theta_S}{2} / \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2}\right)} \quad (14)$$

Dostáváme tím parametr K nové Lambertovy mapy, která je opět bližší optimální Lambertově mapě.

Tento iterační proces opakujeme tak dlouho, až dostaneme dostatečně přesné přiblížení, tedy pro danou oblast optimální Lambertovu konformní mapu.

V prvním přiblížení zvolíme Lambertovu mapu, jejíž hodnota parametru K je zvolena optimálně vzhledem k oblasti jejíž nejsevernější a nejjižnější bod volíme takto. Nejsevernějším bodem obdélníkové oblasti je střed severní strany obdélníka. Hodnotu θ_1 nejjižnějšího bodu stanovíme v první iteraci následovně. Hodnotu θ_1 zvolíme jako přibližnou hodnotu úhlové pólouhy vzdálenosti středu jižní strany obdélníka, kterou vypočteme tak, že k hodnotě úhlové pólouhy vzdálenosti θ_S středu severní strany obdélníka připočteme úhel odpovídající skutečné délce oblouku po poledníku. Tento úhel je dán počtem kroků násobený délkou kroku v síti dělenou poloměrem Země. Klademe tedy

$$\theta_1 = \theta_S + (M-1)h/a \quad (15)$$

Hodnota θ_1 středu jižní strany je v prvním přiblížení o něco větší než hodnota definovaná pomocí sítě na Lambertově mapě, protože koeficient zkreslení mapy je všude kromě rovnoběžky θ_0 větší než 1, a tedy vzdálenosti na mapě jsou o něco kratší. Naproti tomu nejjižnějším bodem mapy je jihozápadní roh obdélníka a ne střed jeho jižní strany. Tím je chyba

počátečního přiblížení částečně kompenzována. Důležité je, že volba počátečního přiblížení je nezávislá na mapě.

Důkaz konvergence iterační metody výpočtu optimální Lambertovy mapy založený na kvantitativních odhadech pomocí vztahů (12), (13) a (14) by byl vzhledem k složitosti vztahů značně komplikovaný. Spokojíme se proto pouze s kvalitativním rozбором výsledků získaných pomocí počítače. Metoda v podstatě počítá iteracemi limitní hodnotu θ_0 , ke které se jednotlivé iterace blíží podle toho, je-li iterace lichá nebo sudá z obou stran, přičemž interval, ve kterém leží hledaná optimální hodnota se stále zmenšuje. Při výpočtu na počítači délka intervalu, na které se proces stane stacionární a interval se již dále nezmenšuje, závisí na přesnosti počítače. Pro dvojnou aritmetiku na PC má mantisa 16 dekadických číslic a přesnost výsledku 10^{-15} tomu odpovídá.

Iterační proces se v programu provádí 10krát a sleduje se rozdíl hodnot K ve dvou po sobě jdoucích iteracích, který je označen jako ERROR. Konvergence je velmi rychlá, hodnota ERROR ve dvou po sobě jdoucích iteracích střídá znaménka, což znamená, že se k výsledné hodnotě K přibližujeme z obou stran. Již po šesti iteracích byla při zkušebních výpočtech hodnota ERROR menší než 10^{-15} a vzhledem k přesnosti aritmetiky počítače (double precision) se již dále nezmenšovala.

Pro studium podmínek, za jakých můžeme iterační metodu použít, je nejdůležitější znalost průběhu funkce zkruslení mapy. Tuto funkci můžeme považovat za funkci dvou proměnných. Pólové vzdálenosti θ , kde je funkce pro danou mapu vyhodnocena, ale také jako funkci proměnné θ_0 , pólové vzdálenosti rovnoběžky, na které se kužel dotýká Země.

Funkce zkruslení mapy jakožto funkce dvou zmíněných proměnných má tvar [2] vztah (4.5)

$$m(\theta, \theta_0) = \frac{\sin \theta_0}{\sin \theta} \left[\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \right]^{\cos \theta_0} \quad (16)$$

dosadíme-li do předchozího vztahu $\theta = \theta_s$, pak tato funkce je rostoucí funkcí θ_0 v intervalu $0 < \theta_s \leq \theta_1 < \pi$, která pro hodnotu $\theta_0 = \theta_s$ nabývá hodnotu 1, a pro $\theta = \theta_1$ je na stejném intervalu klesající funkcí θ_0 , která pro hodnotu $\theta_0 = \theta_1$ nabývá hodnotu 1. Jestliže pro hodnotu θ_0 nejsou v bodech θ_s a θ_1 hodnoty zkruslení stejné, vezmeme jako novou hodnotu tu hodnotu nezávisle proměnné θ_0 , ve které se obě zmíněné křivky protínají (mají stejnou funkční hodnotu). Tím hodnoty zkruslení v bodech θ_s a θ_1 budou stejné a menší než větší z předchozích hodnot. Pro výpočet θ_0 z hodnot θ_s a θ_1 platí pouze omezení $0 < \theta_s \leq \theta_1 < \pi$. Konvergenci metody by mohlo narušit jen to, kdyby při iteračním výpočtu se zvětšovaly vzdálenosti polohy jihozápadního rohu ve dvou po sobě jdoucích iteracích. Toto však nenastává. Tato skutečnost vyplývá ze závislosti mezi proměnnými θ pólovou úhlovou vzdáleností a délkovou úhlovou vzdáleností na mapě. Tato závislost je monotonií a to takovou, že roste-li jedna proměnná, roste i druhá. Totéž platí i o vzdálenosti r_1 a θ_1 , takže znaménka změn r_1 a θ_1 budou stejná. Je rozumné ještě požadovat, aby větší část oblasti ležela na severní polokouli, pro tuto situaci byla konvergence prakticky testována. V opačném případě jednoduše výpočet vztáhneme k jižnímu pólu.

Na závěr vypočteme zeměpisné souřadnice dvou úhlopříčně položených rohů obdélníkové oblasti. Pro zeměpisné souřadnice jihozápadního bodu λ_1, φ_1 máme

$$\lambda_1 = \lambda_0 - \frac{1}{K} \frac{180}{\pi} \arcsin \frac{(N-1)h/2}{r_1}, \quad (17)$$

$$\varphi_1 = 90 - \theta_1 \times 180 / \pi$$

Pro výpočet zeměpisných souřadnic λ_2, φ_2 severozápadního rohu musíme vypočítat nejdříve pólovou vzdálenost r_2 tohoto bodu pomocí Pythagorovy věty

$$r_2 = \sqrt{r_s^2 + ((N-1)h/2)^2} \quad (18)$$

a nyní ze vztahu

$$\lambda_2 = \lambda_0 - \frac{1}{K} \frac{180}{\pi} \arcsin \frac{(N-1)h/2}{r_2} \quad (19)$$

máme λ_2 , a hodnoty φ_2 a φ_s zeměpisnou šířku středu jižní strany vypočteme ze vztahů (18), (8) a (11).

ZÁVĚRY

Lambertovu konformní mapu s optimální volbou parametru K můžeme s výhodou malého zkruslení použít vždy, když oblast neobsahuje severní pól, což snadno kontrolujeme polohou nejsevernějšího bodu oblasti. Oblast může zasahovat i do jižní polokoule, nesmí však oblast na jižní polokouli převážet, což program kontroluje. V případě, že větší část oblasti je na jižní polokouli, můžeme program použít také s tím, že místo zobrazení na kužel s vrcholem v severním pólu, budeme zobrazovat na kužel s vrcholem v jižním pólu. Je-li oblast symetrická vzhledem k rovníku, pak použijeme Mercatorovu mapu, obsahuje-li pól, pak mapu stereografickou.

Možnost použít pro účely meteorologie takto optimálně zvolenou mapu nám ovšem umožňuje grafický software, který obsahuje data pro nakreslení libovolných map tím, že umí generovat geografickou síť i hranice kontinentů, států, ostrovů a tím tedy podkladovou mapu pro libovolné zobrazení. Do této mapy opět grafikou počítače zakresluje meteorologické prvky, většinou pomocí čar stejných hodnot.

Algoritmus byl naprogramován v jazyce Fortran 90 a ožkoušen na PC s procesorem Intel Pentium 4. Byl použit kompilátor Fortran Power Station, Version 4.0 vyvinutý firmou Microsoft. Poznamenejme ještě, že komentáře programů jsou uvedeny v anglickém jazyce, jednak z toho důvodu, že většína kompilátorů Fortranu používaných u nás nemá českou verzi a znaky české abecedy by dělaly potíže a texty by musely být bez diakritických znamének.

Na závěr si uvedeme dva příklady použití optimální Lambertovy mapy. Protože zkruslení mapy je nezávislé na referenčním poledníku λ_0 , tento údaj nebudu uvádět.

Jako první příklad si uvedeme jednu z oblastí používanou v modelu ALADIN. Zeměpisnou šířku středu severní strany jsem z jiných údajů definujících síť vypočítal jako hodnotu 57.3395 stupňů severní šířky, počet bodů na ose y $M = 205$, počet bodů na ose x $N = 229$, délka kroku v síti 12.176 km. Pro takto zadanou oblast vyšly pro optimální mapu následující hodnoty: koeficient projekce vztahu (13), $K = 0.72040$, zeměpisná šířka dotyku Země s kuželem $\varphi_0 = 46.08769$, koeficient zkruslení mapy se mění od 1 do 1.02122.

Jako druhý příklad uvedu Lambertovu mapu použitou pro zkoušky semi-Lagrangeovského, semi-implicitního modelu na Matematicko-fyzikální fakultě, počítaného na PC. Zeměpisná

šířka středu severní strany byla zvolena 75° . Velikost oblasti byla dána hodnotami: $M=73$, $N=91$, délka kroku v síti 80 km. Oblast má tedy rozměry $5\,760 \times 7\,200$ km. Pro optimální Lambertovu mapu máme následující výsledky: zeměpisná šířka dotyku Země s kuželem $\varphi_0 = 50.00751$ stupňů severní šířky, zeměpisná šířka jihozápadního a tedy i jihovýchodního rohu oblasti je $\varphi_1 = 18.87^\circ$ severní šířky a koeficient zkreslení mapy se pohybuje v intervalu 1 až 1.140.

Všimněme si, že pro menší oblast modelu ALADIN se zkreslení pohybuje ve velmi malém rozsahu, přibližně 2%, ale i pro tak velkou oblast v druhém příkladu je výsledek překvapivě dobrý. Proto můžeme říci, že i když výpočty spojené s Lambertovou mapou jsou proti stereografické projekci složitější, lepší zobrazení povrchu Země s menším zkreslením stereografickou projekcí vytlačily. Poznamenejme, že stereografická mapa je vlastně zvláštním případem Lambertovy mapy, kde koeficient $K = 1$ a kužel, na který zobrazujeme, se

stává tečnou rovinou v pólu. V pólu je také koeficient zkreslení mapy roven 1, což rovněž odpovídá tomu, že i bod bodu dotyku kuželové plochy degenerované na rovinu je v pólu.

Literatura

- [1] BAŤKA M., 2002. Optimalizace geografie LAM. Část 1 – Definice kartografických zobrazení a jejich vlastnosti. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 1, s. 9–17.
- [2] BAŤKA M., 2002. Optimalizace geografie LAM. Část 2 – Optimální volba parametrů Lambertova konformního zobrazení. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 2, s. 33–39.

Poznámka. U autora článku je k dispozici i program pro nalezení parametrů optimální mapy v jazyce Fortran 90.

Lektorka RNDr. R. Brožková, CSc., přepracovaný rukopis odevzdán v říjnu 2004.

INFORMACE – RECENZE

TŘETÍ EVROPSKÁ KONFERENCE O VYUŽITÍ RADARŮ V METEOROLOGII A HYDROLOGII – ERAD03

Ve dnech 6.–10. září 2004 se ve Visby na švédském ostrově Gotland konala evropská radarová konference – ERAD. Toto již třetí celoevropské setkání specialistů na využití meteorologických radiolokátorů v meteorologii a hydrologii bylo zároveň závěrečným seminářem projektu COST 717 „Využití radarových měření v hydrologických modelech a modelech numerické předpovědi počasí“. Zaměření projektu COST 717 ovlivnilo i obsah konference, jejíž hlavní témata byla:

- kvantitativní odhad srážek (Quantitative Precipitation Estimation, QPE)
- kvantitativní předpověď srážek (Quantitative Precipitation Forecasting, QPF) a nowcasting
- asimilace radarových dat do modelů numerické předpovědi počasí (Numerical Weather Prediction – NWP)
- validace/verifikace NWP pomocí meteorologických radarů
- využití radarových dat v hydrologickém modelování
- kalibrace, monitoring a kvalita radarových dat
- pokročilé technologie včetně radarových sítí
- diagnostika stavu atmosféry, meteorologické jevy
- útlum
- získávání informací o mikrofyzičce oblaků a srážek
- mezní vrstva atmosféry, měření větru a turbulence
- synergické využití radarů s jinými měřeními a datovými zdroji
- radiolokační měření z družic
- klimatologická analýza datových souborů založených na radarových měřeních

Ze zaměření konference ERAD03 je zřejmý posun v náplni radarových konferencí od otázek technologických a zpracovatelských, na které byla soustředěna pozornost při prvních dvou konferencích ERAD (ERAD01 – Bologna 2000, ERAD02 – Delft 2002), k problematice využití radarových měření v meteorologických a hydrologických aplikacích. Program konference ERAD03 zahrnul 65 ústních prezentací a 112 posterů, které byly prezentovány v průběhu pěti dnů.

Účast se neomezila pouze na evropské autory, řadu příspěvků připravili autoři z USA i dalších mimoevropských zemí.

Začátek konference přinesl nejdříve přehledové referáty o větších projektech (BALTEX, CERAD, COST 717). Ve vystoupeních byla zdůrazněna potřeba a uvedeny příklady slučování radarových informací s dalšími informačními zdroji pro účely meteorologických a hydrologických předpovědí. A. Rossa ve svém referátu o projektu COST 717 zdůraznil, že úsilí o efektivní využití radiolokačních měření by nemělo směřovat k již často nereálnému či neefektivnímu zpřesňování radarových měření, ale spíše ke kvantitativnímu popisu chyb těchto měření a ke zkoumání jejich vlivu na následné aplikace. Jak práce na uvedeném projektu ukázala, cesta k jednotné standardizované charakteristice kvality a nepřesností radiolokačních informací není jednoduchá, nicméně první kroky již byly v rámci COST 717 učiněny. Další úkoly v této oblasti bude částečně řešit projekt sítě EUMETNET zvaný OPERA, zároveň se připravuje další projekt COST, který by se měl explicitně zabývat vlivem nejistoty obsažené v měřených datech a meteorologických i hydrologických modelech na kvalitu meteorologických i hydrologických předpovědí.

Další prezentace pojednávaly o metodách adjustace radarových měření srážek a o kombinaci radiolokačních údajů s pozemními srážkoměrnými měřeními. Údaje pobaltské a středoevropské radarové sítě (BALTRAD, resp. CERAD) se v tříhodinovém kroku kombinují s dostupnými srážkoměry, mj. za účelem výzkumu vlivu vlhkosti půdy na NWP (projekt ELDAS). Přestože adjustace radarových měření srážek nadále zůstává diskutovanou otázkou, podle průzkumu U. Gjertsen a jejich spoluautorů se rutinně aplikuje téměř v polovině dotázaných evropských organizací (9 kladných odpovědí z celkového počtu 21 odpovědí). Rozsah a metodika adjustace však závisí na fyzicko-geografických podmínkách a způsobu využití získaných výsledných údajů. C. Velasco-Forero z odborné skupiny aplikovaného hydrometeorologického výzkumu Katalánské univerzity prezentoval kombinaci radarových měření se srážkoměry využívající neparametrické „krigování“. Ve složitých orografických podmínkách Švýcarska se

větší důraz klade na eliminaci pozemních odrazů a pečlivou kalibraci radarů.

Z referátů zahrnutých do bloků „mezni vrstva, vítr a turbulence“ a „pokročilé technologie“ je možné zmínit např. zajímavý experiment sledující snížení aliasingu dopplerovských měření větru kódováním fáze vysílaného záření (J. Hubbert, NCAR) a kódování pulzu, což by mělo řešit problém nejednoznačnosti zobrazení cílů nacházejících se za nominálním dosahem radaru (řešení problému „range-Doppler dilemma“). Další příspěvky byly věnovány využití polarizačních radarů a nových technologických radarových komponent.

V bloku věnovanému získávání údajů z fyziky oblaků a srážek na základě radarových měření je potřeba zmínit kvalitní příspěvek I. Zawadzkiho, který ukazoval velkou časovou a prostorovou proměnlivost typu a intenzity srážek, která se při měření radarem musí projevit v chybách radarového odhadu srážek. Navíc, jakkoli přesná měření odrazivosti jsou při převodu na intenzitu srážek zatížena další chybou vyplývající z nezanedbatelné stochastické složky vztahu Z-R, což činí adjustaci značně problematickou. Ve svém příspěvku zdůraznil I. Zawadzki význam radaru především pro studium fyziky oblaků a srážek, čemuž se věnovala řada dalších referátů, pojednávajících o procesech tvorby srážek mj. i vertikálně orientovanými radary měřícími na menších vlnových délkách, lidary atp. Další autoři se soustředili na pravděpodobnost detekce krup, identifikaci srážek nedopadajících na zem, porovnání radarových měření s distrometry a výzkum srážek v tropických oblastech. Za zmínku stojí též pojednání o postupu prací na národní multisenzorové analýze srážek s horizontálním rozlišením 1 km, kterou v USA vyvíjejí Národní laboratoř silných bouří (NSSL) a Národní povětrnostní služba (NWS). Zde se nejedná pouze o plošný odhad, ale o prostorový obraz vývoje srážek v časovém rozlišení 5 minut.

Značnou diskusi vyvolal příspěvek V. Chandrasekhara, který doporučoval spíše zavádění více překrývajících se menších radarů pracujících na vlnových délkách v pásmu X, tj. kolem 3 cm. Podle této koncepce, prezentované již Dr. J. Jossem na ERAD02, poskytuje více menších a levnějších radarů na kratších, byť více utlumovaných vlnových délkách kvalitnější informace než jeden velký radar pracující v pásmu C nebo S (přibližně 5, resp. 10 cm). Jednoznačnou výhodou uvedeného řešení je lepší prostorové rozlišení, což je ale do značné míry vyváženo větším útlumem. Touto otázkou se intenzivně zabývá konsorcium čtyř univerzit zastřešené projektem Národní vědecké nadace USA.

Pět referátů a sedm posterů se zabývalo využitím radarových měření v hydrologických aplikacích, zejména v hydrologickém modelování. D. Sempere-Torres kvalitně shrnul výhody i problémy radarových měření pro hydrologické modely; ačkoliv meteorologické radary se již delší dobu jeví jako slibný nástroj pro měření srážek, dnes lze najít jen několik hydrologických aplikací, které radarová data využívají *operativně*. Hlavním důvodem této situace je povaha radarového měření srážek, které je ze své podstaty *nepřímé*, a které tudíž vyžaduje další, většinou poměrně složité opravy. Diskusi vyvolal příspěvek M. Bruena, jenž navrhol korekce nedostatků radarových měření a jejich vlivu na hydrologické simulace pomocí metod umělé inteligence, např. neuronových sítí.

Mezi příspěvky, které se zabývaly družicovým radiolokačním měřením, je vhodné zmínit připravovaný projekt Global Precipitation Measurement (GPM), který je následníkem projektu Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM). Projekt GPM si stanoví za cíl globální monitoring

srážek s časovým rozlišením, které umožní analýzu denního cyklu srážek. Kanadská vesmírná agentura a Evropská kosmická agentura (ESA) společně pracují na vývoji čidel pro mikrovlny a na vývoji radaru pracujícím na 35 GHz (8.6 mm).

Do prvního bloku příspěvků o využití radarových měření v NWP modelech byly zařazeny studie o asimilaci radarových dat do modelu. Příspěvky se týkaly metod pro asimilaci radarové odrazivosti, resp. produktů odvozených z měření odrazivosti, které mají pomoci při zlepšení QPF zejména pro konvekční srážky. Sem lze zařadit prezentaci testů metody Latent Heat Nudging (LHN) v lokální verzi LMK modelu LM COSMO (S. Klink), resp. studii účinnosti asimilace orientovanou na území Švýcarska (D. Leunberger a A. Rossa) a využívající vnořenou verzi LM COSMO modelu. Obě studie prokazují na analýze jednotlivých případů, že LHN zlepšuje lokalizaci konvekčního systému i srážkové hodnoty. Nejasné je zatím např. trvání pozitivního vlivu asimilace. Kromě vlivu asimilace na QPF se testuje i vliv asimilace Dopplerovských měření větru na předpověď pole proudění. Problematické asimilace radarových dat do NWP modelu bude jistě věnována intenzivní pozornost i v následujících letech.

Využití radarových dat při verifikaci a validaci NWP modelů je dalším perspektivním tématem. NWP modely s rozlišovací schopností řádu 1 km vytvářejí strukturu prognostických srážkových polí, která má stejné charakteristické rozměry jako radarová měření. Zejména v letní polovině roku je obtížné verifikovat tato členitá pole pouze pomocí srážkoměrných měření. Podobné problémy nastávají u detailní struktury prognostických polí proudění. Klíčovým příspěvkem tohoto bloku byl souhrn anglických výsledků z operativní verifikace QPF pomocí radarových měření (C. Wilson, M. Mittermaier, M. Goeber). V rámci tohoto bloku zazněla i velmi působivá prezentace amerických autorů o verifikaci předpovědi NWP modelem RUC10 (R. Roberts, J. Wilson). Během projektu International H₂O Project (IHOP), zaměřeného na hodnocení iniciace konvekce, nastala asi polovina případů v oblastech zřetelné konvergence přízemního větru. Problémem zůstává tzv. vyvýšená konvekce (elevated convection), která je zřejmě způsobená konvergencí ve střední troposféře a s jejíž předpovědí měl model RUC10 značné těžkosti. Pro udržení a další rozvoj procesů hluboké konvekce hrají významnou roli gust fronty, které jsou však NWP modelem diagnostikovány také poměrně obtížně.

Závěrečný den konference byl nejprve věnován otázkám QPF a nowcastingu a pokračoval problematikou kvality radarových dat. Kromě analýzy dalších výsledků IHOP (J. Wilson, R. Roberts) zazněl zajímavý příspěvek na téma nowcastingu od skupiny z McGill University v Montrealu (C. Lin, S. Vasic, I. Zawadzki, B. Turner). Na základě úvahy o měřítkových aspektech jednotlivých meteorologických jevů autoři konstatovali, že NWP model má problémy při předpovědi jemnějších struktur srážkového pole, zatímco nowcasting založený na radarových měřeních je v tomhle ohledu lepší. Nicméně, zhruba po 6 hodinách jsou již předpovědi z NWP modelů kvalitnější. Klíčovými příspěvky zde byly i francouzské studie skupiny S. Sénésiho o objektivě orientovaných metodách nowcastingu. Nejvýznamnějším příspěvkem v bloku o kvalitě radarových dat byl souhrn závěrů projektu COST 717, který shrnul poznatky a doporučení o kvalitě radarových měření v Evropě. Rozsáhlá analýza patří k důležitým výstupům projektu a bude mít formu odpovídající publikace.

Z České republiky byly na konferenci přijaty k prezentaci dva ústní referáty. Prezentace „Operational application

of combined radar and raingauge precipitation estimation at the CHMI“ (M. Šálek, P. Novák, D. J. Seo) byla zařazena do bloku o kvantitativním odhadu srážek a referát “Radar verification approach to the QPF for local flash flood storms“ (D. Řezáčová, Z. Sokol) zazněl v bloku o verifikaci/validaci NWP předpovědi s využitím radaru. Dále byly přijaty poster: „Z-R (radar reflectivity-rain rate) relationships derived from Czech distrometer data“ (O. Fišer), „Czech Weather Radar Data Utilization for Precipitation Nowcasting“ (P. Novák), „Nowcasting of precipitation by using radar, lightning and NWP model data“ (Z. Sokol, D. Řezáčová, P. Pešice) a „Utilization of radar-based precipitation estimates in hydrological models in the Czech Republic“ (M. Šálek, L. Březková). Kromě uvedených příspěvků se čeští autoři podíleli na ústních referátech „Weather radar in hydrological forecasting systems“ (B. Vehviläinen, M. K. Cauwenberghs, J.L. Cheze, R.J. Moore, M. Šálek, A. Jurczyk, J. Szturc) a Gauge Adjustment of Radar-Based Precipitation Estimates in Europe (U. Gjertsen, M. Šálek, D. Michelson). Příspěvky z ČR prezentovaly některé výsledky projektu COST 717 a jejich kvalita i počet prezentací byly dobře hodnoceny.

Po skončení konferenčních jednání proběhla závěrečná zasedání pracovních skupin projektu COST 717 a závěrečné zasedání řídicího výboru. Obou aktivit, zaměřených převážně na přípravu závěrečné zprávy projektu COST 717 a přípravu projektu pokračujícího, se zúčastnili i zástupci ČR.

Po technické stránce připravil organizační výbor vedený D. Michelsonem (Švédský ústav pro meteorologii a hydrologii) skutečně kvalitní konferenci z hlediska organizačního a technického zabezpečení, odborné kvality referujících i jejich prezentací. Závěrečná informace s diskusí a vyhlášení obrázku dne se staly každodenním vyvrcholením programu. Kromě tištěné verze programu konference s abstrakty příspěvků byl k dispozici i sborník obsahující rozšířené abstrakty většiny prezentací. Publikace řady ERAD tak dobře dokumentují vývoj evropské radarové meteorologie posledních let. Ocenili jsme neformálně přátelskou a vstřícnou atmosféru, která je však na konferencích ERAD tradiční, i pěkný a vtipný doprovodný program (podvečerní návštěva muzea města Visby a konferenční „banket“ ve vikingské vesnici). Také tato skutečnost přispívá k tomu, že konference ERAD jsou odborným setkáním na vysoké odborné i lidské úrovni.

Milan Šálek – Daniela Řezáčová

SEMINÁŘ O KLIMATICKÝCH ZMĚNÁCH A MODELOVÁNÍ ATMOSFÉRIKÝCH PROCESŮ

Seminář České meteorologické společnosti, pořádaný ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem, Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy a Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR se uskutečnil ve dnech 12.–14. října 2004 na osvědčeném místě – ve školicím středisku ČHMÚ v Radostovicích u Mladé Vožice. Tématem semináře byly Klimatické změny a modelování atmosférických procesů.

V průběhu čtyř pracovních půldnů odeznělo celkem 19 přednášek:

- Taťána Míková (ČHMÚ): Vybrané zajímavosti ve variabilitě tlaku vzduchu v posledních dvou stoletích v Praze-Klementinu;
- Jiří Hostýnek (ČHMÚ): Kolísání teplot a srážek sekulárních řad v ČR v kontextu s regionem střední Evropy;



Účastníci semináře konaného ve školicím středisku ČHMÚ v Radostovicích. Foto R. Tolasz.

- Luboš Němec, Ilona Setničková (ČHMÚ): Změny sněhových charakteristik za posledních 100 let;
- Zuzana Chládková, Jaroslava Kalvová (MFF UK): Změny vybraných klimatických charakteristik v ČR v období 1961–2000;
- Miloslava Starostová (ČHMÚ): Zvláštnosti teplotní řady v Temelíně;
- Václav Smělý: Sluneční činnost a globální oteplení v ČR;
- Tomáš Halenka (MFF UK): Historie a současnost modelování klimatu;
- Ladislav Metelka (ČHMÚ): Systémy umělé inteligence jako nástroj pro empirické klimatologické modelování;
- Petr Pišoft (MFF UK): Wavelet analýza v klimatologii: teorie a aplikace;
- Ladislav Metelka (ČHMÚ): Využití neuronových sítí v meteorologické a klimatologické praxi;
- Radan Huth (ÚFA AV ČR): Využití statistického downscalingu při konstrukci scénářů klimatické změny;
- Tomáš Halenka (MFF UK): Regionální klimatické modely v ČR, první výsledky;
- Martin Janoušek (ČHMÚ): Dynamický downscaling reanalýzy ERA40 modelem ALADIN;
- Aleš Farda (ČHMÚ): Využití a vývoj fyzikálních parametrizací v modelu ALADIN pro klimatické experimenty;
- Lucie Pokorná (ÚFA AV ČR): Mody proměnlivosti atmosférické cirkulace v euroatlantické oblasti;
- Milena Kovářová (Botanický ústav AV ČR): Hodnocení dlouhodobých klimatologických dat z mokřadního ekosystému Mokré Louky u Třeboně;
- Miloslav Müller (ÚFA AV ČR): Metody rekonstrukce historických konvekčních bouří;
- Jaroslava Kalvová (MFF UK): Informace o CD z meteorologie a klimatologie pro střední školy;
- Jan Pavlík (ČHMÚ): Informace z 1. světové konference o vysílané meteorologii, konané v Barceloně v červnu 2004.

Někteří účastníci semináře představili poster, které byly zpracovány pro různé mezinárodní akce:

- Ladislav Metelka, Stanislava Kliegrová (ČHMÚ): Statistical Downscaling of Daily Temperature in Central Europe: A Comparison of Linear Models and Neural Networks;
- Ladislav Metelka, Karel Vaníček (ČHMÚ): Development and Testing of Neural Models for Simulation of Total Ozone in the European Region;

- Ladislav Metelka, Radim Tolasz (ČHMÚ): Non-Linear North Atlantic SLP Variability in Winter Period;
- Jiří Mikšovský, Aleš Raidl (MFF UK): Phase space reconstruction: Some practical applications and comparison of a few linear and nonlinear methods of time series analysis;
- Petr Pišoft, Jaroslava Kalvová (MFF UK): Qualitative analysis of climate variability during past centuries across the Europe and the wavelet transform of secular meteorological series, solar and North Atlantic Oscillation index series.

Celkem se semináře zúčastnilo 64 odborníků, převážně z pořádajících organizací. Akce proběhla v přátelském duchu, i počasí se zachovalo celkem dobře; bylo sice chladno, ale nepršelo.

Helena Vondráčková

ILUSTROVANÝ ATLAS POČASÍ

Autor P. Dvořák.

Cheb: Svět křidel, Nakladatelství letecké literatury 2003. Náklad 2000 výtisků. 138 s. Cena neuvedena. ISBN 80-86808-02-5.

Recenzovat populárně vědecké dílo je podobně obtížné, jako je psát. Popularizace vědeckých poznatků vyžaduje specifický způsob vyjadřování, který je nezbytný, aby byl výklad pro neoborníka srozumitelný a poutavý. Tím připouští zjednodušování popisovaných skutečností, a tedy i nepřesnosti a neúplnost výkladu, nikoliv však povrchnost a chyby. Recenzent se tudíž musí smířovat s tím, že výklad není zcela dokonalý a hodnotit dílo i podle toho, jak má blízko k cílovým čtenářům, jak je obohacuje a zaujme.

Petr Dvořák, autor recenzovaného titulu, je v současné době nejproduktivnějším českým meteorologickým spisovatelem a popularizátorem, neboť každým rokem přichází s novou knihou. V roce 2001 to byl *Ilustrovaný atlas oblaků* (122 stran), v roce 2002 *Termika aneb vyšší škola plachtění* (224 stran), v roce 2003 *Ilustrovaný atlas počasí* a v roce 2004 *Letecká meteorologie* (221 stran). I když z jejich názvu to ve všech případech není patrné, jde vesměs o tituly, které směřují především k zájemcům o sportovní létání, o čemž svědčí i to, že je vydává nakladatelství Svět křidel.

Jejich autor je absolvent meteorologie na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy a sportovní pilot, který zpočátku pracoval jako letecký meteorolog na letišti Praha-Ruzyně. Nyní provozuje leteckou školu a působí v odborných leteckých časopisech jako redaktor a grafik, mimo jiné je šéfredaktorem časopisu AeroHobby. Své grafické schopnosti úspěšně využívá ve vlastních publikacích, z nich lze snadno usuzovat i na jeho velkou komerční zdatnost.

Ilustrovaný atlas počasí podle jeho slov *logicky navazuje na předchozí a nečekaně úspěšnou knihu... Atlas oblaků, která se dočkala několikanásobného dotisku a stále se těší novému zájmu čtenářského publika. Právě zájem o Atlas oblaků nás přivedl k myšlence rozšířit jej o další knihu zajímavostí o počasí, a to nejen jednoduchou encyklopedickou formou, jakých najdeme v knihkupectvích poměrně dost, ale provádáním jednotlivých meteorologických prvků, poučením čtenáře, jak tyto prvky interpretovat, jak si je vysvětlovat a jak z nich vyvodit závěry. Čtenář by po přečtení této knížky (a třeba i zmíněného Atlasu oblaků) mohl umět sám*

jednoduše předpovědět počasí a vůbec něco o něm vědět (str. 3). V této souvislosti připomínám, že Ilustrovaný atlas oblaků, na který se autor odvolává jako na úspěšného předchůdce Ilustrovaného atlasu počasí, recenzoval na stránkách tohoto časopisu J. Kopáček, který jej přijal s četnými výhradami (Meteorologické Zprávy, 2002, roč. 55, č. 3, s. 90–92). Ilustrovaný atlas počasí je v prvé řadě bohatě graficky vybavený meteorologický výkladový slovník o 53 heslech, který byl rozšířen o úvodní kapitoly Počasí a lidstvo, Počasí a podnebí na Zemi, Jak se předpovídá počasí, Jaké bude zítra počasí a o dodatek Předpovídání počasí podle přírodních úkazů. Kniha formátu 30 × 21 cm je uspořádána tak, že text je v úzkých sloupcích na vnějších stranách listů, zatímco větší plochy uvnitř knihy jsou vyplněny barevnými fotografiemi, mapkami a grafy, jichž je více než 200.

Výběr hesel je věcí autora, určitá nahodilost v jejich volbě se mi jeví jako zajímavá, avšak nevím, jak ji vnímá laický čtenář. Hesla jsou totiž zcela nesouměřitelná významem i délkou výkladu. Některá velmi krátká, jako Bilance a Průzkum Země, ani v knize nemusela být, pokud se autor nerozhodl jim dát větší prostor. Samostatnými hesly jsou např. Dust devil (čertík), Kapky deště (přitom v publikaci je heslo Déšť), Kroupy, ale i Anemometr, přestože existuje heslo Meteorologické přístroje a měření.

Hesla jsou uspořádána v podstatě abecedně, výraz „v podstatě“ znamená, že nedůsledně. Lze pochopit, že s ohledem na explikaci je Fronta okludovaná zařazena až za Frontu teplou a Frontu studenou, avšak postavení Babího léta za Barometrem, Bilanci, Bleskem a Bouřkou není nijak odůvodnitelné. Některá hesla jsou v přirozeném slovosledu, např. Halové jevy, Vlnové proudění, jiná mají slova v opačném pořadí, např. Efekt skleníkový, Fronta teplá. Explikace hesel je zpravidla souborná, encyklopedická, takže výklad v rozsáhlých celcích umožňuje objasňovat mnohé jevy a termíny v souvislostech a návaznostech. V tom autor splnil svůj záměr. Souborná hesla obsahují více dalších pojmů, které by mohly být samostatnými hesly. Např. v heslu Cyklona jsou vysvětlovány anebo aspoň zmiňovány pojmy frontální vlna, cyklogeneze, anticyklogeneze, teplá fronta, studená fronta, teplý sektor cyklony, vertikální stříh větru a stříhové srážky, proces okluze, okluzní bod, okluzní fronta teplá a studená, termická níže, cyklonální počasí. V hesle Fronta studená se rozlišuje studená fronta 1. a 2. druhu, uvádějí se pojmy anafrota a katafronta, čára instability, húlava, vertikální stříh větru a stříhové srážky, vertikální teplotní gradient, podružná studená fronta apod. Při popisovaném způsobu zpracování se autor nemohl vyhnout tomu, aby některé jevy nevysvětloval vícekrát v různých heslech a jiných souvislostech.

Dílu by určitě prospělo, kdyby bylo opatřeno heslářem všech použitých odborných výrazů. Jeho sestavování by autorovi pomohlo odhalit některé slabiny textu. Jde však o čtenáře, který by v případě, že nenajde hledaný pojem mezi 53 hesly, mohl být heslářem naveden na heslo, v němž je jeho výklad obsažen. Koho, kdo se chce něco dozvědět o čáře instability, napadne, že ji má hledat pod Frontou studenou a stejně tak zákal v hesle Kouřmo, případně Dohlednost? Mimo jiné, podstata zákalu v hesle Kouřmo je poněkud zatemněna. Je sice správně konstatováno, že kouřmo patří do skupiny hydrometeorů, není však řečeno, že zákal nemá nic společného s vodními kapičkami, protože je jedním z litometeorů. O kouřmu se píše, že *jedná se vlastně o aerosol, jenž zhoršuje dohlednost na hodnoty pod 10 km, nejméně však na 1 000 m. Současně musí být vzduch poměrně vlhký, jeho relativní vlhkost by měla*

presahovat 70%. Pokud je relativní vlhkost nižší, jedná se o zákal (str. 60). Z toho by se mohlo chybně usuzovat, že zákal je hydrometeor při nižší vlhkosti vzduchu. Rozsáhlým souborným heslem jsou Oblaka, obsahující kompletní výklad jejich vzniku, klasifikaci a popis deseti základních druhů, případně dalších kategorií. Používání slova typ místo druh oblaků (*oblaka typu cumulus a cumulonimbus*, str. 77, nebo *typu Ci*, str. 82, *typu altocumulus*, str. 137) není vhodné. Altostratus nezařazujeme do pater, takže není *druhým druhem oblaku, řazeným do středního patra* (str. 86). Formulace *z hlediska oblačného patra je nimbostratus zařaditelný od země až do nejvyšších vrstev troposféry* (str. 87) je poněkud nešťastná, stejně jako podobné vyjádření *z hlediska teploty vzduchu je chladno* (str. 101), týkající se počasí za severní cyklonální situace.

Názvem hesla Vlnové proudění se autor přidržuje v letectví tradičního označení jevu, pro něž byl v *Meteorologickém slovníku výkladovém a terminologickém* (Praha, Academia + Ministerstvo životního prostředí, 1993) zvolen fyzikálně výstižnější termín proudění ve tvaru vln. Především v heslech Vlnové proudění, Termika, Turbulence, ale i Bouřka apod., autor doplňuje výklad o vliv těchto jevů na létání, čímž překračuje obvyklé explikace v podobných slovníkových dílech. Z těchto hesel lze nejlépe poznat odborné zaměření autora, jehož výhodou při jejich psaní jsou osobní zkušenosti s počasím při sportovním létání.

Překvapivé, i když prospěšné bylo zařazení obsáhlých hesel Synoptické situace a Světové klima. Škoda, že přízemní synoptické mapy, které charakterizují 11 vybraných synoptických typů určujících počasí u nás, byly převzaty od britské, nikoliv od naší povětrnostní služby. Více by byla zobrazována střední Evropa, již se typizace týká, na úkor Atlantiku, mapky by byly vhodněji orientovány a tlakové výše označeny písmenem V místo H (High) a tlakové níže písmenem N namísto L (Low). Popis podnebí světadílů navazuje na úvodní kapitulu Počasí a podnebí na Zemi s instruktivní mapkou rozložení vzduchových hmot na Zemi, které jsou však zakresleny jen na severní polokouli a v rovníkové oblasti.

Autor umí psát „pro lidi“, což dokazuje na mnoha místech knihy. Např. jak je to s tvorbou předpovědi počasí a jejími uživateli, popisuje slovy: *Počítačové modely vytvářejí meteorologové-teoretici. Výsledky jejich práce potom dostávají do rukou praktičtí meteorologové, kteří je na základě svých zkušeností interpretují do svých předpovědí pro odbornou i neodbornou veřejnost. Nemůžeme přece chtít po hospodynce, aby si mezi práním a sušením prádla k počítači a na internetu si našla předpovědní mapu oblačnosti, vlhkosti a srážek, a vyhodnotila, od kdy do kdy má pověsit prádlo na zahrádce na šňůru. Ani řidič autobusu si nemusí prostudovat mapy přízemních teplot a mapy srážek, aby se rozhodl, zda ho čeká po zdlouhavé noční jízdě ranní náledí nebo suchá silnice. Zkrátka proto jsou tu meteorologové praktici, kteří s předpovědními mapami v ruce sestaví předpověď šitou na míru těm, kteří to tak potřebují* (str. 10). Bezpečnost teploty měřené na slunci vysvětluje takto: *Slunce, jehož záření dopadá na teploměr, jej ohřívá mnohem více, než samotný vzduch a tento ohřev navíc závisí i na vlastnostech teploměru, takže rtuťová náplň se bude ohřívát jinak, než náplň červeného lihu a ta zase jinak, než náplň modře zabarveného lihu. Postavíme-li na totéž místo několik různých teploměrů, ať kapalinových nebo elektrických a necháme-li na ně dopadat přímé sluneční záření, můžeme si být jisti, že každý bude ukazovat něco jiného. Shodnou se jen v jednom – žádný z nich nebude ukazovat teplotu vzduchu* (str. 123–124).

Některá konstatování jsou úsměvná. K charakteristice podobné Egypta patří tyto řádky: *Pozoruhodností je, že v severní části Egypta může v průměru jednou za deset let sněžit....To ovšem neznamená, že by Egypt byl rájem lyžařů. Sníh tady totiž velmi rychle roztaje* (str. 110). O tornádovém oblaku se píše: *Oblačný chobot se obvykle všelijak křiví, svíjí a mění, ale jeho dráha postupu při zemi je přímočará. Když tedy někdy uvidíte tornádo, jak se přibližuje k vám, poodejděte raději kousek stranou* (str. 132).

V knize postrádám soupis použité a případně i doporučené literatury, po které by sáhli čtenáři, v nichž by publikace probudila o meteorologii hlubší zájem. Mám na mysli kromě jiného již uvedený Meteorologický slovník, jediné dílo, které P. Dvořák kromě svého Ilustrovaného atlasu oblaků v textu zmiňuje (str. 78). Slušelo by se rovněž uvést, odkud byly fotografie a jiné přílohy převzaty a vymezit autorův podíl na jejich zpracování (fotomontážích). Za téměř legrační prohrěšek, či spíše faux pas autora, považuji popisek k obrázku hurikánu, který zní: *Družicový snímek hurikánu, dorazivšího na hranice naší republiky, je neklamným znamením brzkého zhoršení počasí* (str. 138). Zůstaňme klidní: snímek byl zřejmě pořízen v některé z republik v karibské oblasti, takže nejde o naše hranice třeba s Rakouskem.

Přes všechny možné výhrady považuji Dvořákův Ilustrovaný atlas počasí za úspěšné dílo, které může být milým dárkem při různých příležitostech. Není důvod k tomu, aby u nás vycházely převážně překlady zahraničních populárně vědeckých meteorologických prací, které k naší klimatické oblasti mají hodně daleko. Silnou stránkou spisu je jeho obrazová složka, skvělé fotografie na křídovém papíře, z nichž některé jsou počítačově upraveny a doplněny, a spolu s mapami, grafy a prostorovými schémata činí z knihy atraktivní publikaci. A navíc jako poutač na titulní straně portrét en face přivítivě se usmívající televizní meteoroložky a sportovní pilotky Mgr. Aleny Zárybnické.

Dovětek. Obecně platí, že kvalita psaného díla se zlepšuje po věcné i stylistické stránce, pokud si rychle píšící autoři najdou pomalu čtoucí lektory. Anebo jim je určí nakladatelství. Domnívám se, že v případě Ilustrovaného atlasu počasí tomu tak nebylo, v tiráži recenzent není uveden.

Karel Krška

BIOMETEOROLÓGIA

Autoři F. Špánik, B. Šiška a kol.

Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita 2004. 227 s. ISBN 80-6069-315-3.

Vysokoškolská učebnice *Agrometeorologie*, která byla vydána jako československá vysokoškolská učebnice a sepsána autorským kolektivem pod vedením prof. Ing. V. Havlíčka, DrSc., vyšla v roce 1986. Do jejího vydání byla k dispozici *Meteorologie a klimatologie* v zemědělství, vydaná v roce 1961. Pomineme-li skripta, není přibližně dvacetiletý cyklus vydávání odborných učebnic nejhodnější. V tomto pohledu je vydání *Biometeorologie* velmi aktuální.

Autoři, prof. F. Špánik, doc. B. Šiška, prof. J. Antal, ing. Š. Repa (Slovenská poľnohospodárska univerzita), prof. J. Tomlain (Univerzita Komenského Bratislava) a doc. J. Škvarenina (Technická univerzita Zvolen) dodrželi potřebnou zvyklost a v jednotlivých kapitolách se věnovali vysvětlení meteorologických a klimatologických základů

a následně biometeorologické či bioklimatologické aplikaci. S ohledem na znalosti studentů, kdy předměty biometeorologie a bioklimatologie jsou přednášeny v prvním, případně druhém ročníku, je tento osvědčený postup pedagogicky potřebný a nutný.

Odborný text učebnice, která pokrývá jak problematiku biometeorologie, tak agrometeorologie, (byť není v názvu) je rozdělen do 12. kapitol. První začíná definicí meteorologických disciplín. Stručný přehled historie je zaměřen hlavně na vývoj agrometeorologie, které je více věnována kap. 11. Dále je uveden vývoj a struktura slovenské meteorologické služby. Atmosféra je velmi stručně popsána v kap. druhé, která má pouze šest stran, takže s kap. „Větr“ jsou nejkratší. Její závěrečná část je věnována biometeorologickému významu složek atmosféry. Tento, tedy biometeorologický význam, je uváděn až do kapitoly osmé. Základní přehled o slunečním záření, radiační bilanci, skleníkovém efektu uvádí kap. třetí. Biometeorologický význam slunečního záření je zaměřen hlavně na jeho fyziologické účinky, včetně vztahu pro výpočet horní hranice rostlinné produkce. Překvapivě není v této kapitole uvedena a vysvětlena energetická bilance, od níž se odvíjejí stávající výpočty evaporace a evapotranspirace, ale je uvedena až v následující čtvrté kapitole s názvem „Teplota půdy, vody a vzduchu“. Její předností je rozsáhlá část „Biometeorologický význam teploty“, kde jsou uvedeny výklady pojmů, vliv nízkých teplot na rostliny apod. Voda v atmosféře a půdě je název kap. páté, která začíná pojednáním o výparu. Transpirace a evapotranspirace jsou zařazeny do části Biometeorologický význam výparu. S ohledem na současné požadavky výpočtů evaporace a evapotranspirace chybí uvedení novějších vztahů pro jejich výpočet. Následuje vlhkost vzduchu, kondenzace včetně tvorby oblaků a jejich klasifikace a dále srážky.

Oproti běžnému obsahu učebnic tohoto zaměření je velmi podrobně rozpracována problematika hydrologie v kap. šesté s názvem „Půdní voda“. V pohledu určení této učebnice, tedy studentům zemědělských oborů, je to krok správný, protože čtenář dostává informace potřebné k pochopení oběhu vody v půdním prostředí, které je rozhodující pro reálnou vláhovou bilanci, aktuální evapotranspiraci apod. Fyzikální podstata proudění vzduchu, místní větry a všeobecná cirkulace atmosféry jsou obsahem kap. sedmé. Počasí je název kap. osmé, která začíná vysvětlením podstaty tlaku vzduchu a dále je věnována předpovědím počasí a základním pojmům cyklogeneze a frontogeneze. Naopak vztahy mezi živočichy a počasím, počasím a rostlinami včetně výkladu pranostik jsou rozebírány takřka na sedmi stranách. Součástí kapitoly jsou i „Agrometeorologické prognózy a služby“. Rozsah učebnice jistě nedovolil popis různých používaných programů agrometeorologických předpovědí, to je pochopitelné. Ovšem těžko dnes někdo bude mít k dispozici kruhový diagram pro určení rosného bodu.

Nejrozsáhlejší devátá kapitola o 57 stranách je věnována klimatologii. Uvádí veškeré základy klimatologie, včetně

metod zpracování klimatických prvků. Podnebí Země je uvedeno podle klasifikace Köppena. Podstatná část kapitoly je věnována popisu a údajům o podnebí Slovenska za období 1951–2000, případně 1961–2000. Zařazením tabulek měsíčních a ročních hodnot základních klimatických prvků z 31 stanic se učebnice stává určitou náhradou běžně nedostupných tabulek podnebí Slovenska. Na str. 128 je sice uvedeno, že podrobný popis podnebí Slovenska je v kap. 11.2.2., ale čtenář zjistí, že tato kap. je věnována agroklimatologickému popisu. Jde o jeden z mála překlepů či chyb v textu. Kategorie klimatu, přízemní vrstva atmosféry, mikroklimatologie, meliorace podnebí, dopady změny klimatu na zemědělství a agrometeorologické metody tvoří obsah desáté kapitoly. Uváděné poznatky výzkumu dopadů možné změny klimatu jsou s ohledem na společné počátky těchto výzkumů a v podstatě podobné přírodní podmínky platné i pro naše podmínky. Agroklimatologii je věnována kap. jedenáctá, kde je jednak uvedena agroklimatologická rajonizace podle Agroklimatických podmienok ČSSR (1975), a dále nároky vybraných zemědělských plodin na agroklimatické podmínky.

Poslední kapitolou je „Fenologie“, což je logické, ale s ohledem na některé ne zcela pozitivní názory z posledních let na udržení fenologických pozorování považují její zařazení do učebnice za velmi důležité. Mimo popisu fenologických pozorování a jejich zpracování je uvedena fenologická regionalizace Slovenska.

V seznamu literatury je uvedeno 59 citací, které představují veškerou naši dostupnou literaturu daného oboru. Zlepšením by určitě bylo zařazení zahraničních učebnic.

Ten, kdo v učebnici hledá vysvětlení všech okruhů biometeorologie, nemusí být jejím rozsahem spokojen, ale musí vycházet z účelu učebnice. Jak již bylo uvedeno, jde o text věnovaný hlavně biometeorologii a bioklimatologii rostlin, která je přednášena na mateřských univerzitách autorů. Rozsah a zaměření výuky určitě vymezily i počet stran učebnice, takže autoři, byť jsou představiteli daného oboru nejen v pedagogice, ale i ve výzkumu, nemohli mnohé, včetně těch nejnovějších výsledků, v učebnici uvést. V každém případě je nutné vyzvednout nekonvenční pojetí kapitol Voda v atmosféře a půdě, Půdní voda, Počasí, v rámci kapitol klimatologických, potom části Mikrometeorologie..., Klimatická změna a její vliv na zemědělství, Požadavky některých zemědělských plodin na agroklimatické podmínky.

Slovenská „Biometeorológia“ je určitě přínosem pro studenty českých vysokých škol i pro odborníky a zájemce o tento obor, protože přináší nejnovější poznatky z hlavních okruhů biometeorologie rostlin. Slovenská jsem zdůraznil úmyslně, protože tato učebnice byla vydána pro potřeby slovenských studentů a odborníků, takže u nás určitě nebude volně k dispozici, svědčí o tom i její náklad 500 kusů. Ovšem alespoň v našich odborných knihovnách bychom ji měli najít.

Jaroslav Rožnovský



INFORMATIVNÍ ODBORNÉ BULLETINY VYDÁVANÉ ČESKÝM HYDROMETEOROLOGICKÝM ÚSTAVEM

DENNÍ PŘEHLED POČASÍ

Deník, 4 strany formátu A4, cena jednoho čísla 30,- Kč, celoroční předplatné 10 950,- Kč.

Obsahuje data z aerologického měření na observatoři v Praze-Libuši, údaje ze synoptických pozorování na 21 stanicích v České republice (charakter počasí, vítr, tlak, teplota, rosný bod, srážky). Je publikována přehledná mapa počasí na našem území, včetně tabulkového přehledu o teplotě v Praze-Klementinu, Praze-Libuši, Brnu-Tuřanech a Ostravě-Mošnově (průměrná, nejvyšší a absolutní maximální teplota včera, nejnižší v noci na dnešek, absolutní minimum v noci na dnešek, odchylka od normálu, srážky od 6 h UTC včera do 6 h UTC dnes). Zařazeny jsou i čtyři mapy Evropy a přilehlé části Atlantského oceánu, obsahující grafickou i číselnou charakteristiku počasí, absolutní topografii v hladinách 500 a 850 hPa a údaje o maximální a minimální teplotě.

MĚSÍČNÍ PŘEHLED POČASÍ

Měsíčník, 6 stran formátu A4, cena jednoho výtisku 100,- Kč, celoroční předplatné 1 200,- Kč.

Obsahuje charakteristiku průběhu počasí za minulý měsíc, grafické znázornění srážek, tlaku vzduchu a teploty vzduchu v Brně-Tuřanech, Praze-Karlově a Praze-Ruzyni. Na podkladové mapě ČR jsou číselně znázorněny průměrné teploty vzduchu, úhrny srážek v mm a slunečního svitu v hodinách. Je uveden i přehled 50 stanic s údaji o průměrné teplotě vzduchu a její odchylce od normálu, úhrnu srážek a slunečního svitu.

MĚSÍČNÍ PŘEHLED METEOROLOGICKÝCH POZOROVÁNÍ OBSERVATOŘE PRAHA-KARLOV

Měsíčník, 4 strany formátu A4, cena jednoho výtisku 70,- Kč, celoroční předplatné 840,- Kč.

Obsahuje přehled základních prvků počasí (teplota, vlhkost vzduchu, výpar vody, sluneční svit, vítr, oblačnost, srážky včetně výšky sněhové pokrývky, tlak vzduchu) v pozorovacích termínech 7, 14 a 21 hodin denně.

AGROMETEOROLOGICKÝ ZPRAVODAJ

Ve vegetačním období (konec března – září) týdeník, v říjnu až březnu měsíčník, 6 stran formátu A4, cena jednoho výtisku 30,- Kč, celoroční předplatné 960,- Kč.

Obsahuje textový agrometeorologický přehled a na mapách ČR znázornění úhrnů srážek a oblastí s nadnormálními a podnormálními úhrny, odchylek průměrných teplot od normálu, trvání slunečního svitu v procentech normálu a vláhové bilance. V tabulkových přehledech jsou ze stanic podle jednotlivých krajů uvedeny údaje o sumách efektivních teplot, termínových extrémech teploty půdy v hloubkách 5, 10 a 20 cm i aktuálních hodnotách meteorologických prvků.

Všechny bulletiny můžete objednat na adrese:

**Český hydrometeorologický ústav, OMTZ,
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany
tel.: 244032606, e-mail: durcansky@chmi.cz**



NABÍDKA PUBLIKACE ČHMÚ

FENOLOGICKÝ ATLAS

Autoři Lubomír Coufal, Vladimír Houška, J. David Reitschläger, Jaroslav Valter, Tomáš Vráblík
Praha, ČHMÚ 2004. 264 stran. ISBN 80-86690-21-0. Cena 800,- Kč.

V České republice, podobně jako ve většině evropských zemí, se dlouhodobě sledují fenologické projevy významných druhů rostlin s využitím sítě pozorovacích stanic. Tuto činnost zajišťuje Český hydrometeorologický ústav a z odborného hlediska se jedná o systematické získávání informací o rychlosti vývoje vybraných druhů rostlin v závislosti na podnebí a počasí, které jsou využitelné jak pro studium klimatu, tak i pro aktuálně zaměřené informační služby směřované do zemědělství, lesnictví, tvorby a ochrany krajiny, ale i medicíny.

Při pozorování vybraných druhů rostlin a plodin se dosud pozorovatelé mohli opřít pouze o slovní popisy obsažené v metodických návodech. Předložený obrazový atlas přispěje nejen k přesnější identifikaci pozorovaných objektů a zkvalitnění pozorování, ale uplatní se jistě i mimo staniční síť ČHMÚ, hlavně v zemědělském a lesnickém výzkumu i v odborném školství.

Publikace má reprezentativní charakter a je strukturována do třech oddílů: oddíl A – Lesní rostliny obsahuje celkem 45 plodin (počínaje smrkem ztepilým a konče rákosem obecným), oddíl B – Polní plodiny 16 plodin (pšenice setá, žito seté, ječmen obecný, oves setý, řepa krnná a cukrovka, lilek brambor, kukuřice setá, bob obecný, hrách setý, fazol obecný, len setý, brukev řepka, mák setý, tollice vojtěška, jetel luční, chmel otáčivý) a oddíl C – Ovocné plodiny 13 objektů (jabloň domácí, hrušeň obecná, slivoň, třešeň ptačí, višně obecná, meruňka obecná, broskvoň obecná, rybíz červený, rybíz černý, angrešt srstka, ořešák královský, líska obecná, réva vinná).

U každé z rostlin nebo plodin je na dvoustraně nebo i více stranách formátu A4 uvedena textová charakteristika a popis, černobílá perokresba a barevné fotografie dokumentující jednotlivé fenofáze (např. od rašení až po plnou zralost).

Publikaci lze objednat na adrese:

**Český hydrometeorologický ústav, SIS, p. Jiráková, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany,
Tel./fax: 244032721, e-mail: jiratova@chmi.cz. Na objednávce uvádějte svoje IČ.**