

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

Anketa – Synoptická meteorológia a predpovedanie počasia v blízkej budúcnosti	33
<i>Miroslav Škoda</i> : Synoptická meteorologie na křižovatce	37
<i>Ladislav Metelka</i> : Optimalizace kategoriálních předpovědí	39
<i>Zbyněk Sokol – Daniela Řezáčová</i> : Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese	46
Informace – Recenze	57

ROČNÍK 54 – 2001 – ČÍSLO 2

Survey – Synoptic meteorology and weather forecasting in the near future	33
<i>Miroslav Škoda</i> : Synoptic meteorology at the crossroads	37
<i>Ladislav Metelka</i> : Optimalization of categorial forecasts	39
<i>Zbyněk Sokol – Daniela Řezáčová</i> : Application of classified regression to the statistical correction of radar-based daily precipitation	46
Information – Reviews	57

Meteorologické zprávy, časopis pro odbornou veřejnost ● Vydává Český hydrometeorologický ústav ● Redakce: Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, telefon 4403 2722, 4403 2725, fax 4403 2721, E-mail: horiky@chmi.cz ● Řídí vedoucí redaktor RNDr. Luboš Němec, redaktor prom. knih. Zdeněk Horký ● Redakční rada: Prof. RNDr. Jan Bednář, CSc., Ing. František Hudec, CSc., RNDr. Karel Krška, CSc., Mgr. Stanislav Racko, RNDr. Daniela Řezáčová, CSc., RNDr. Jan Strachota, 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 ● Ročně vychází 6 čísel, cena jednotlivého čísla 20,- Kč, roční předplatné 180,- Kč včetně poštovného, do zahraničí 42,- USD. Reg. číslo MK: 5107. ISSN 0026 – 1173

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

Meteorological Bulletin

ROČNÍK 54 (2001)

V PRAZE DNE 30. DUBNA 2001

ČÍSLO 2

ANKETA

SYNOPTICKÁ METEOROLÓGIA A PREDPOVEDANIE POČASIA V BLÍZKEJ BUDÚCNOSTI

Synoptic meteorology and weather forecasting in the near future. Results of the work of synoptic meteorologists is possible to rank without hesitation among the most monitored ones in the general public. Thanks to the fast development of numerical methods and their application to the synoptic practise in the last 20 years it came to a significant shift in the work of synoptic meteorologists. As a result, sometimes even a problematic assessment of the new approach can be seen. In the first place, confrontation of a traditional synoptic approach with an unsubstitutable role of a subjective share of the forecaster and a modern approach representing the tendency to a partial or a fully automated meteorological service, initiated implementation of the „survey“. For that reason we turned with the question „What is your idea of the development in synoptic meteorology and weather forecasting in the near future ?“ to 15 Czech and Slovak meteorologists. We are presenting answers of the meteorologists that were ready to express themselves.

Prelom storočí dáva podnety na ankety rôzneho druhu. S anketami sa môžeme predovšetkým stretnúť v časopisoch bulvárnejšieho razenia a v denníkoch, ale vyskytnúť sa môžu aj v serióznejších časopisoch určených pre odbornú verejnosť.

Výsledky práce synoptických meteorológov môžeme bez váhania zaradiť medzi najviac sledované v širokej verejnosti. Vďaka rýchlemu rozvoju numerických metód a ich bezprostrednej aplikácii v súčasnej synoptickej praxi došlo v priebehu posledných 20 rokov k výraznému posunu v práci synoptického meteorológa. V dôsledku toho dochádza niekedy aj ku kontroverznému hodnoteniu nového prístupu. Najmä konfrontácia tradičného synoptického prístupu s nezastupiteľnou úlohou subjektívneho podielu synoptika a modernistického prístupu, vyjadrujúceho tendenciu k čiastočnej alebo plnej automatizácii meteorologickej služby, dala podnet na uskutočnenie tohto „prieskumu“. Preto sme sa s otázkou „Akú máte predstavu o vývoji v synoptickej meteorológii a predpovedaní počasia v blízkej budúcnosti?“ obrátili na 15 českých a slovenských meteorológov. Predkladáme vám odpovede tých meteorológov, ktorí si našli ochotu a čas sa vyjadriť.

Prof. RNDr. Jan Bednář, DrSc. (Katedra meteorologie a ochrany prostředí MFF UK Praha)

K predložené otázce ohledně představ o dalším vývoji a budoucnosti synoptické meteorologie bych se chtěl vyjádřit z poněkud širšího hlediska vztahujícího se zejména k problematice výuky základních meteorologických disciplín a odborné přípravy příslušných specialistů.

Především se domnívám, že již samotný pojem synoptické meteorologie, tak jak se mu rozumí v tradičním smyslu, je

dnes již silně anachronický. Z minulosti jsme byli zvyklí rozlišovat dynamickou meteorologii a synoptickou meteorologii, z nichž prvá představovala teoretický souhrn statiky, dynamiky, termodynamiky a cirkulace atmosféry poskytující základ pro objektivní (početní, numerické) meteorologické předpovědi, zatímco druhá vytvářela shrnutí meteorologické empirie, a to za účelem sice týchž prognóz, ale formulovaných klasickou cestou, tj. na základě subjektivní zkušenosti prognostika (zohledňující přirozeně i zkušenosti předchozích generací) a empiricky získaných pravidel. Myslím, že toto klasické rozdělení již zcela ztratilo svůj původní smysl, neboť v aplikační rovině dnes neexistuje odděleně dynamická a synoptická meteorologie, ale postupně se vytvořila jakási „Synoptica Nova“ založená na interpretacích výsledků numerických předpovědních modelů a dlouhé řady diagnostických a prognostických veličin formulovaných v podobě matematických vyjádření. I nejzkušenější meteorolog – prognostik dnes nemůže konkurovat počítači ve schopnosti dostatečně rychle zpracovat a „vzít v úvahu“ obrovský počet informací spjatých s právě zmíněnými výsledky a veličinami obsahujícími v sobě veliký observační materiál prezentovaný však již nikoli v syrovém stavu, ale plně zasazený do širokého rámce fyzikálních (a případně i dalších) dějů probíhajících v atmosféře Země.

Jsem si plně vědom, že konečná interpretace všech matematicky formulovatelných diagnostických a prognostických veličin může být do značné míry počítačově objektivizována a že výsledky vlastních numerických prognostických modelů lze s úspěchem podrobit automatizovanému „postprocessingu“ pomocí statistických modelů či vhodných objektivně fun-

gujúcich expertních systémů, přičemž je ovšem nutno počítat s objektivně existujícím, a tedy principiálně nepřekonatelným omezením prediktability deterministického typu v důsledku nelineárního charakteru dynamického systému zemské atmosféry. Navzdory všem těmto skutečnostem se však domnívám, že přinejmenším v časovém horizontu, na který ještě může dohlédnout dnešní generace, zůstane zachována užitečnost a potřebnost alespoň logické „supervize“ lidského faktoru v celém souboru činností vytvářejících meteorologickou prognostiku, a to především v jeho interpretačních sektorech. Co bude za horizontem naší dohlednosti do budoucna zahaluje mlha a je věcí pouze dohadů. Mám však víru, že inspirativní role lidského rozumu a inteligence nezmizí z našeho koutku vesmíru dříve, než se vyčerpají meze jeho fyzické životnosti.

K uvedenému přesvědčení o nezbytnosti lidské „supervize“ nad činností automatických prognostických systémů v meteorologii mne vede racionální úvaha, která však přirozeně má spíše filosofickou než exaktní povahu. Existuje-li totiž v meteorologických dějích indeterministická složka, potom je principiálně nemožné zkonstruovat dokonalý deterministický model, popisující plně (beze zbytku) atmosférický systém a všechny jeho funkce. Naše prognostické modely proto nikdy nemohou plně vystihnout realitu, ale představují vždy pouze neúplnou aproximaci. Lze si však stěží představit, že by mohla existovat pouze jedna absolutně nejlepší a současně nutně nedokonalá aproximace. Budou-li proto existovat různé modely aproximující atmosférické děje, bude vždy existovat určitá různost jejich výstupů a odtud plyne nutnost lidské supervize. Nebylo by jí ovšem třeba, kdyby lidská společnost dospěla k takové organizaci, která by vyloučila všechnu individualitu a pluralitu. Nějaká celosvětová vláda by pak ovládala myšlení každého lidského individua a snadno by mohla nařídít, aby byl v meteorologii používán pouze jediný model. Takováto vskutku orwellovská moc by však představovala konec vědy, kultury a veškeré lidskosti. Nemáme-li propadnout úplnému nihilismu, věrme, že nikdy nenastane.

Doc. RNDr. Ferdinand Heseck, CSc. (Geofyzikální ústav SAV Bratislava)

Medzi našimi kolegami na ústave jednoznačne prevláda názor, že uplynie ešte veľa času, kým počítače budú schopné fungovať samostatne, nezávisle od synoptikov. V odpovedi na Vašu otázku: Minimálne v najbližších 10 rokoch bude mať synoptik nezastupiteľnú úlohu pri prognóze počasia.

Doc. RNDr. Eva Hrouzková, CSc. (Katedra meteorológie a klimatológie FMFI UK Bratislava)

Je nesporné, že sa rozvojom numerických metód a rovnako i rozvojom Internetu zmenili pracovné postupy synoptika. V tomto smere sa v blízkej budúcnosti rozvoj nezastaví, naopak môžeme čakať ďalší rýchly vývoj najmä v prenose dát.

Takmer denne sledujem výsledky rôznych numerických modelov, pokiaľ sa k nim dostanem, ale iba prostredníctvom internetovskej stránky Top Karten z Karlsruhe. Pripomínam, že nie som zamestnancom SHMÚ, resp. ČHMÚ, ani sa nepodieľam na riešení problémov numerických modelov, a preto nemám prístup ku mnohým aktuálnym materiálom. Na základe porovnávania výsledkov rôznych modelov som presvedčená, že je práca synoptika ešte stále nezastupiteľná, a to nielen pri kontrole, ale i pri využívaní výsledkov modelov.

Ďalší vývoj synoptickej meteorológie bude rozhodne závisieť od rozvoja numerických metód a možnosti ich využitia v našom odbore. Okrem zlepšovania výsledkov numerických modelov bude tiež dôležitá možnosť operatívneho vyu-

žitia týchto výsledkov ako i informácií z meteorologických družíc a radarov.

Dúfam, že ekonomická situácia neskomplikuje podmienky v synoptickej službe. Som ale presvedčená, že kvalita najmä špeciálnych predpovedí bude ovplyvňovať i naďalej záujem firiem o meteorologické informácie.

RNDr. Dagmar Krišková (SHMÚ Bratislava)

Nemám jednoznačný názor na ďalší vývin v oblasti predpovedí počasia. Na jednej strane je tu jasný nástup numerických predpovedí jednotlivých prvkov, ktoré sa dajú veľmi dobre transformovať do rôznych tabuliek, grafov, obrázkov a pod., a teda výstupy z nich sa dajú „ušiť“ presne na mieru jednotlivým odberateľom. Na druhej strane je tu viac či menej podvedomý strach meteorológov, či už zo straty zamestnania, alebo aspoň zo straty doterajšej rozhodujúcej pozície pri tvorbe predpovedí, čo pochopiteľne vplýva na posudzovanie nielen hodnoty numerických predpovedí ako takých, ale celej z toho vyplývajúcej situácie. Trošku neskromne si namýšľam, že blížiaci sa dôchodok ma ochráni od podobného skresľovania situácie a dodá mi potrebný odstup, ale nie som si tým až taká istá. Pokúsím sa byť stručná. V najbližších rokoch, či dokonca desaťročí neočakávam vznik nejakej prevratne novej synoptickej predpovednej metódy, len malé vylepšovanie už doteraz existujúcich postupov, spresňovanie koeficientov, či hľadanie nových väzieb a závislostí a pod. a všetky takto získané výsledky budú využiteľné aj pri spresňovaní numerických predpovedí. Samozrejme môže dôjsť k výraznej zmene a nejaký génius vymyslí niečo úplne nové, čo si ja teraz ani neviem predstaviť, ale spoliehať sa na narodenie génia, no neviem, neviem.

V dôsledku hore uvedeného, ako aj ďalšieho výskumu na poli numerických modelov predpokladám, že tieto budú stále presnejšie, aspoň na také obdobie, kde narastajúce chyby nenarobia veľa neplechy a tak sa úloha meteorológa pri ich kontrole, či nejakej úprave postupne úplne potlačí. Už teraz nie je treba takmer zasahovať do niektorých numerických predpovedí, ktoré na oddelení používame, v iných vieme presne, kde sa opakujú chyby a pri troche práce zo strany numerikov a meteorológov by sa dali odstrániť. Takže už v súčasnosti by sa dali numerické predpovede rozdeliť do troch skupín: v jednej sú tie, ktoré sú úplne bez zásahu meteorológa, v druhej sú tie, kde musí kontrolovať a opravovať to, čo si myslí, že je chybné a v tretej sú tie, ktoré meteorológ síce berie na vedomie, ale vôbec ich nemusí pri tvorbe predpovede použiť, ale vyberie si niektorý iný (predpovedný) model. Taká je napríklad situácia pri predpovedi na viac dní, kde nemáme zatiaľ taký model ako je ALADIN. Preto je úlohou meteorológa vybrať si jeden z modelov alebo dokonca môže použiť nejakú cestu medzi nimi. Ako som už napísala, tých plno automatických predpovedí bude stále viac, najmä na kratšie časové obdobie.

Okrem predpovedí na dlhšie časové obdobie by sa meteorológovia podľa mňa mohli najviac uplatniť v oblastiach na hraniciach disciplín, ktoré sú doteraz najmenej prebádané a kde je ešte dosť široké pole na výskum, a to nielen ako to poznáme z SHMÚ medzi meteorológiou a hydrologiou alebo čistotou ovzdušia, ale aj v takom praktickom využití meteorológie ako napríklad pre energetikov, poľnohospodárov, stavbárov a pod., kde bude meteorológ vychádzať buď zo všeobecnej numerickej predpovede a na jej základe zostaví predpoveď podľa požiadaviek odberateľa, alebo bude spolupracovať s numerickým meteorológom, aby automatickým výsledkom bola predpoveď presne podľa uvedených požiadaviek.

Či sa nám to páči alebo nie, meteorológovia v blízkej budúcnosti musia byť aj programátormi, pretože, či už budú doplňať ešte stále existujúce medzery v spracovaní údajov a výskume už nameraného, alebo sa budú viac venovať len tomu, čo nás čaká, nikde sa bez tejto doplnkovej profesie nezaobídu. Preto na záver musím, žiaľ, skonštatovať, že predpokladám skoré vymretie tradičných synoptikov nórskej školy po meči aj po praslici.

RNDr. Jan Pavlík (ČHMÚ Praha)

Vývoj meteorologické služby smeruje ke zdokonalovaniu numerických modelů atmosféry s tendenci automatizovat předpovědi počasí. Při současné úrovni předpovědí z numerických modelů pokládám za nezbytné, aby garantem předpovědi byl meteorolog, který je schopen do určité míry eliminovat některé systematické i jiné chyby modelu, zejména v krátkodobých předpovědích. Navíc pro velmi krátkodobou předpověď nejsou ještě kvalitní numerické předpovědi k dispozici. Při rozdílných předpovědích jednotlivých modelů je častým úkolem meteorologa rozhodnout se pro určitý vývoj povětrnostní situace. To pokládám za lepší přístup, než se orientovat pouze na jeden model. V budoucnosti lze předpokládat další postupné zdokonalování numerických modelů a tím poroste jejich význam pro předpověď počasí. Přesto se domnívám, že v některých ohledech zůstane role meteorologa nezastupitelná. Podle AMS zůstane na meteorologovi zejména úkol vydávat specifická doporučení za specifických okolností, s čímž lze podle mého soudu souhlasit. Nechat vše na programech počítačů by se nemuselo vyplatit. Nelze předpokládat, že budou někdy dokonalé. Nabízí se různé paralely. Např. v lékařství by se pacienti asi také nechtěli svěřit pouze technice, i když její využívání je nezbytné. A vezmeme-li si případ nedávné tragédie v Kaprunu, ukázalo se, že naprogramování techniky nemusí být vždy účinné a někdy může být nebezpečné. V neposlední řadě se domnívám, že vzdělání, zkušenosti a schopnost se správně rozhodovat budou i v budoucnu potřebné, a to nejen v meteorologii.

RNDr. Daniela Řezáčová, CSc. (Ústav fyziky atmosféry AV ČR)

Současné NWP modely dosáhly dobré úrovně zejména v oblasti krátkodobé předpovědi meteorologických polí a zdánlivě snadno lze výstupy NWP modelu přepsat do jazyka předpovědi počasí. V řadě synoptických situací i pro řadu meteorologických prvků to skutečně platí a tento fakt působí velmi svůdně. I z nedávné historie extrémních srážek na našem území však víme, jak klamné to může být. Je proto důležité nepodlehout tomuto zjednodušení role synoptika na interpretátora výstupů modelu, starostlivě verifikovat výsledky modelů a nespokojit se s konstatováním, že dnes to nevyšlo, že model lokální srážky neumí a nikdy umět nebude, nebo že ten či onen provozní model pojednal danou situaci lépe a jiný hůře. Většina synoptiků chápe model jako jistou černou skříňku a při své specializaci a pracovním vyčerpání nemůže studovat nedokonalosti formulace modelových rovnic, užití numerické metody, nebo kvalitu koncepčního fyzikálního modelu, který je základem modelových rovnic a parametrizací. Přesto právě verifikace modelových výsledků a konfrontace s meteorologickými znalostmi může ke zlepšení modelu velmi přispět tam, kde je to vůbec možné z principálního hlediska prediktability chování atmosféry.

Už v samotném slově model je určitý stupeň aproximace obsažen. Přehnaný optimizmus týkající se možnosti zmenšování kroku modelu nebo prodlužování předpovědní doby je

v mnoha případech jen málo podložený (např. v případě srážek pro lokální kvantitativní předpověď, pro předpověď extrémních jevů různých kategorií aj.). Přesto se domnívám, že potenciál NWP modelů není ještě zdaleka vyčerpán. Nejde jen o otázky výpočetní kapacity a v široké oblasti problémů nejde ani o problémy prediktability. Dostáváme se tak k pojmu „tradiční synoptické postupy“, který chápou ne jako technologii tvorby předpovědi, ale jako způsob uvažování tedy subjektivní aplikaci koncepčního meteorologického modelu a dnes již i srovnání s výsledkem NWP modelu.

Prof. Browning v 80. letech napsal řadu článků na téma interpretace družicových výstupů, nových poznatků o silné konvekci apod. Vytvářel tak nové koncepční modely pro aplikaci v meteorologickém provozu. Dr. Kurz z DWD v rámci projektu COST78 sumarizoval řadu meteorologických koncepčních modelů, počínaje norským modelem cyklony stří. z. šířek až např. k vazbě mezi anomálií potenciální vorticity a cyklogenezí. Zároveň v několika pracích ukázal, jak důležité je konfrontovat výsledky NWP modelu se skutečností, aplikovat i vytvářet nové koncepční modely v oblasti cyklogeneze, intenzifikace frontálních vln aj. Důležité je, že současná synoptická meteorologie je zcela propojená s meteorologií dynamickou. Vývoj a budoucnost synoptické meteorologie je tedy v její návaznosti na rostoucí porozumění dynamickému chování atmosféry, v tvorbě nových koncepčních modelů a v jejich verifikaci. Důsledkem je potom i zahrnutí těchto koncepcí do algoritmů NWP modelu nebo do diagnostiky modelových výstupů.

Další typy úvah by mohly směřovat např. k přechodu synoptické meteorologie k meteorologii „mezosynoptické“, k dokonalejšímu zapojení dalších informačních zdrojů do předpovědního aparátu, k využívání jiných metod nad rámec výstupů NWP modelu (statistické modely, prostředky umělé inteligence). Jde o řešení otázek spjatých s konkrétními užitelskými problémy. Závěrem tedy: Synoptická meteorologie se velmi vyvíjí a jako synopticko-dynamická meteorologie má před sebou ještě dlouhou cestu. Nesmíme ji však zredukovat na interpretaci výstupů z NWP modelu nebo chápat ji v tom nejtriviálnějším smyslu jako provozní subjektivní aplikaci dnes již více než klasických koncepčních modelů.

RNDr. Josef Štekl, CSc. (Ústav fyziky atmosféry AV ČR)

Má subjekt – synoptik svoje nezastupitelné místo při tvorbě a formulaci předpovědi počasí nebo ho již nahradily objektivní počítačové metody?

Postavíme-li tuto otázku na zjednodušeném černobílém chápání, mohli bychom odpovědět následující větou: Pokud úspěšnost meteorologické předpovědi bude vyšší numerickou metodou, pak synoptická metoda přestává mít smysl. Při tomto rozhodování se musí velmi uvážlivě volit metoda hodnocení úspěšnosti předpovědi. V první řadě se musí hodnotit odděleně, a to jak předpovídané meteorologické prvky, tak i meteorologické jevy. Metoda hodnocení musí postihovat lokality jednotlivých meteorologických stanic, musí postihovat časové hledisko a musí umožňovat hodnocení úspěšnosti extrémních stavů a jevů. Na tomto místě musím zopakovat známou skutečnost, která se projevuje při hodnocení úspěšnosti předpovědi počasí. V dlouhodobém průměru, např. měsíčním, jsou úspěšnější metody, které těží z přínosu nejčastěji se vyskytujících stavů, tedy stavů blízkých průměru. Nevyplácí se riskovat v předpovědích extrémních stavů, protože i málo neúspěšných předpovědí zatíží výsledek větší chybou. Na

druhé straně však předpovědi těchto extrémních stavů mají pro spotřebitele největší cenu. Úspěšnost takových předpovědí by v celkovém schématu hodnocení měla být zvýhodněna. Zdůrazňujeme, že základní vlastností většiny postprocessin-
gových metod je preferování stavů blízkých průměrnému stavu na úkor případů ležících v krajních částech rozdělení.

Ve skutečnosti však podobné rozhodování musí vzít v úvahu spektrum dalších barev, které problém obsahuje. Jsem přesvědčen, že nejen metodická, ale i lidská složka diskutovaného problému má nepominutelný význam.

Synoptická metoda doznala během osmdesáti let svého trvání od vzniku norské školy postupná zlepšení, vycházející z nových technik měření (radiosondážní měření, radarová a družicová měření), ale nosná myšlenka metody zůstala zachována. Jde o synoptickou analýzu vrcholící analýzou atmosférických front a jejich následné zpracování. Objev a existence frontální analýzy přinesly do synoptické metody mj. i určitou „kostru“ pro předpověď počasí a hlavně pro předpověď změn počasí. Na druhé straně vyvolaly řadu diskusí o existenci objektu, který není jednoznačně exaktně definován. Tyto diskuse nabyly na intenzitě v době, kdy se numeričtí modeláři začali potýkat s otázkami diskontinuit na atmosférických frontách.

Ti, kdo mohli proniknout do často hazardérského charakteru práce jako je předpověď počasí, dobře ví, že většina „komplikací“ je spojena s atmosférickými frontami. Časově rychlá změna jejich intenzity jedním i druhým směrem, vlnění studených front se změnou nejen intenzity i směru a rychlosti jejich postupu, vliv orografie na chování front, projevy front ve více pásech, tvorbu zafrontálních studených hřebenu vysokého tlaku a další procesy, které mají většinou subsynoptický rozměr a tím i krátké časové trvání několika hodin. Tyto procesy zatím numerické modely většinou neumí postihnout. Uvedené důvody vedou k tomu, že v současné době většina meteorologických světových center od subjektivní frontální analýzy neustupuje.

Vzhledem k tomu, že synoptická metoda je založena na subjektu – tedy na synoptikovi, bude beze sporu její úspěšnost přímo závislá na kvalitě subjektu. Tím se dostávám ke zmíněné lidské dimenzi problému. Jako ke každé profesi, tak i k předpovědi počasí musí mít subjekt určité vrozené předpoklady, nebudu-li mluvit o pracovitosti a určitém zapálení pro práci tohoto typu. Dalším důležitým faktorem je charakter a úroveň vysokoškolské přípravy pro práci synoptického meteorologa. Domnívám se, že vedle moderně pojaté synoptické meteorologie by posluchač, zaměřený na synoptickou službu, měl absolvovat i kurz dynamické klimatologie. V trendu dnešního vysokoškolského vzdělání, které směřuje spíše k obecnějšímu pojetí, je tento požadavek stěžejně realizovatelný, možné by to bylo snad v rámci pracoviště. Patrně stále platí dlouholetá zkušenost, že vysokoškolák se stane zapracovaným synoptikem po třech až pěti letech praxe, podle schopností a kvality školní přípravy. V tomto období tvorby osobnosti synoptika si musel v době před numerickými modely

každý vytvořit „vlastní“ metodu, vedoucí k požadovanému výsledku – formulaci předpovědi. Většinou přijal školu pracoviště, příp. odborného vedoucího kolektivu. Připomeňme, že česká synoptická meteorologie byla co do odborníků, kteří dokázali vytvořit vlastní školu a tím i příznivě působit na synoptickou „mládež“, nejsilnější v době Brádkově. Z jeho školy čerpaly nejméně dvě generace prognostiků. Naproti tomu v současné době nastala diametrální změna. Mladý synoptik dnes může převzít široký sortiment nabízených numerických prognóz a nemusí mít svůj vlastní názor. Za ním vlastně stojí „autorita“ objektivní numerické metody. Nevím, jaký podíl nebezpečí, vyvolaného zmíněným lidským faktorem, je skryt v procesu možného útlumu vlivu synoptické metody do budoucna.

Domnívám se, že otázka odchodu synoptické metody z procesu formulování předpovědi počasí není otázkou této doby. Není to pouze proto, že numerické modely ještě nevyčerpaly všechny možnosti, např. při parametrizaci procesů interakce na zemském povrchu, při parametrizaci procesů malých měřítek, při parametrizaci frontálních procesů apod. Synoptik zatím přes řadu pokusů o objektivní analýzu front je nezastupitelný v této oblasti. Nezapomínejme na synoptikovu možnost sloučit informace klasické analýzy s údaji družicových a radiolokačních měření.

V synoptikových rukou leží arbitrážní rozhodování o kvalitě numerických modelů vydávaných různými centrály. A bude tam ležet tak dlouho, pokud se tyto modely budou od sebe odlišovat. Hledání slabých a silných stránek jednotlivých numerických modelů, to je nový obsah práce v synoptické profesi. Myslím tím studium schopnosti jednotlivých typů numerických modelů postihnout přestavby synoptických situací, intenzivní vpády studeného vzduchu a další charakteristické synoptické procesy. Stručně řečeno, hledání slabých článků numerických modelů, které je třeba ošetřit. A tento dialog „člověk-počítač“ ukazuje mj. i na zdůvodnění potřeby zachovat pozice subjektu–synoptika v procesu tvorby předpovědi počasí.

* * * * *

Toľko z názorov súčasníkov našej meteorologickej obce. Treba poznamenat, že mnohí z oslovených meteorológov nezareagovali. Istotne kvôli pracovnej zaneprázdnenosti. Okrem týchto odpovedí sme dostali aj príspevok od RNDr. Miroslava Škodu, CSc., jedného z popredných českých odborníkov v oblasti numerických predpovedných metód, ktorý sme nielen pre jeho veľký rozsah, ale aj obsah, ktorý značne prekročil pôvodne koncipovanú otázku, zaradili ako samostatný príspevok s názvom *Synoptická meteorologie na křižovatce*.

Anketu nepovažujeme za uzavretú. Ak máte pocit, že by ste sa k danej téme chceli na stránkach Meteorologických zpráv vyjadriť, môžeme vaše názory zaradiť do najbližších čísel tohto časopisu.

Stanislav Racko – André Simon

SYNOPTICKÁ METEOROLOGIE NA KŘIŽOVATCE

1. ÚVOD

Řadu let se diskutuje o osudu synoptiky, o nedostatku nových technických třídimentzionálních pozorovacích technik, které byly dosud živou vodou jejího rozvoje.

S numerickými předpovědními metodami se synoptici zcela nesžili. Ale nepředbíhejme. Byl jsem mizerným synoptikem a po dvou letech jsem se začal plně věnovat numerickým předpovědním metodám a zasvětil jim celý život.

Kuloárové diskuse, včetně polooficiálních, vedené na meteorologických seminářích pořádaných Československou meteorologickou společností měly zásadní vadu; konaly se bez spontánní účasti synoptiků. Byly tyto diskuse, bez účasti kritizovaných, legitimní, a mohly něco vyřešit? O tom všem a dalších souvislostech pojednávají následující řádky.

2. HISTORIE

Nezačneme-li od starých Řeků, potom mají obě metody společného jmenovatele, a to norskou povětrnostní službu. V této zemi měla synoptická metoda ideální podmínky. Západně od norského pobřeží leží Atlantský oceán. Posádky lodí plující oběma směry systematicky zaznamenávaly průběh počasí. Bergeron se svými spolupracovníky tyto údaje pečlivě vyhodnocoval. Přidržíme-li se zjednodušeného pohledu, potom můžeme říci, že identifikovali Islandskou nížinu a Azorskou výšinu. Navrhli úchvatný systém vzájemně se ovlivňujících vzduchových hmot různých teplot a jejich styčnou plochu nazvali frontálním rozhraním. Z těchto úvah vyplynuly zákonitě fronty a jejich teorie, včetně průběhu počasí na jednotlivých typech front. To jsou všechno notoricky známé skutečnosti. Důležité je to, že metoda je založena na okamžitém přehledu počasí nad rozsáhlými oblastmi. Jednalo se o originální a nesmírně úspěšnou metodu předpovědi počasí, dominantně závislou na rychlosti přenosu měřených veličin ze stanic do center zpracování. S filigránskou přesností byly zpracovány šifrovací kódy, které dodnes nesou stopy začátků telegrafie: jsou členěny do bloků po pěti znacích. V začátcích byla k dispozici pouze přízemní pozorování a analýza povětrnostní mapy byla ryze subjektivní záležitostí, často problematickou nad oceány a málo obydlenými oblastmi. O proudění ve vyšších hladinách se pouze teoretizovalo na základě ojedinělých balonových měření. S nástupem Molčanovových radiosond a pokusů Vaisalových se začaly objevovat na mapách údaje z vyšších hladin atmosféry. Během druhé světové války a hlavně po jejím skončení nastal nový bouřlivý rozvoj synoptiky na bázi trojrozměrného poznávání proudění.

Poněkud odlišný vývoj zaznamenal druhý fenomén. V roce 1905 publikoval Vilhelm Bjerknes stať, ve které definoval fyzikálně-matematické možnosti předpovědi počasí. Praktické řešení soustav parciálních diferenciálních rovnic s fyzikálními parametrizacemi na pravých stranách rovnic bylo však v té době technicky neřešitelné.

Základní, ale tragický pokus s fatálními následky pro další tři dekády provedl v roce 1922 L. F. Richardson. Stovky pracovníků s mechanickými kalkulátory po řadu měsíců počítaly jednu jedinou neúspěšnou předpověď. Synoptici byli tímto pokusem povzbuzeni. Do hry vstoupilo jak geostrofické pravítko, tak studia všeobecné cirkulace atmosféry atd. Synoptika úspěšně řešila transformaci vzduchových hmot geografickým podkladem.

V první polovině 50. let se začaly kreslit polokoulové mapy přízemního tlakového pole a hladiny 500 hPa. Vznikla řada typizací, uvedme pouze Multanovského, Hesse-Brezovského a Scherhagovu školu na univerzitě v Hamburku. Objevila se řada typizací počasí. Zde nelze opomenout práce J. Brádky a Z. Gregora. Nesmíme zapomenout na využívání výsledků dynamické meteorologie v synoptické praxi. Uvedme pouze pro zajímavost Sutcliffovu teorii a Defantovu advektivní metodu. Do popředí se dostávaly práce C.-G. Rossbyho, J. Charneye a řady dalších.

Vlastní synoptika však začala ztrácet dech, a to do doby, než se objevily první družicové snímky oblačných systémů vysílaných družicemi s polární drahou letu. Ty potvrdily genialitu norské školy. Pokud šlo o první provozní výsledky numerických předpovědí, synoptici se soustředili na jejich kritiku (v té době ještě oprávněnou).

Invektivy z jedné i druhé strany, vybuchující ve všech povětrnostních službách, zaviniily obě strany. Na základě proklamací numeriků očekávali synoptici právem výraznější výsledky předpovědi termobarických polí. Nebrali ohled na objektivní potíže, s kterými museli dynamičtí meteorologové bojovat. Výkonost počítačů prudce rostla a příprava vstupních dat celý proces zdržovala. Hledaly se metody automatického zpracování dat, objektivní analýzy apod. Dle mého soudu se numeričtí meteorologové dopouštěli dvou zásadních chyb:

- I. Nekriticky obhajovali své výsledky a publikovali pouze kvalitní předpovědi (omluvou nemůže být snaha o zdůvodnění obrovských finančních nákladů na výpočty).
- II. Malá ochota vysvětlovat meteorologům ve službě konstrukci, a tudíž skutečné možnosti atmosférických modelů, včetně, a to bych rád zdůraznil, malé ochoty spolupracovat při vyhodnocování výsledků.

Synoptici se uchýlili k důsledné interpretaci snímků oblačnosti. Snímky všech používaných spektrálních pásem přestaly být podpůrnou informací, nýbrž informací dominantní při analýze povětrnostní mapy. Názorným příkladem může být v ČHMÚ stanovování okamžiku přechodu front přes Prahu. Tato velmi významná, nicméně však podpůrná informační technika, se téměř vyvinula v samostatný obor.

Družicové informace vzbudily zájem i meteorologů-teoretiků, zvláště jejich spirálovitý charakter. Zdálo se mi, že až do objevu prvního snímku pochybovali o základech norské školy. Jiná skupina, podstatně však významnější a hlavně pragmatičtější, se snažila přetransformovat data z družic do profilů teplotního zvrstvení, tj. odvozovat geopotenciální výšky standardních izobarických hladin, teplot, vlhkostí a dalších charakteristik a doplňovat tak chybějící měření. Výsledky byly včleněny do řady nových kódů (SIRS, SATEM, SATOB, SARAD). Výsledky nejsou dosud zcela přesné, ale podařilo se zacelit prázdnotu po zrušených stálých meteorologických lodích v obou oceánech a upřesnit tak objektivní analýzu.

Téměř stejný vývoj a uplatnění zaznamenala radiolokační technika. Kombinace obou uvedených technických prostředků výrazně zlepšila výstražnou povětrnostní službu. Tolik k novým technikám, které nerozvíjela synoptika, nýbrž je toliko exploatovala. Příklady slouží k tomu, abychom mohli přejít k současnosti.

3. SOUČASNOST

Synoptici tvoří samostatnou skupinu pracovníků, předpovídajících počasí na základě dokumentů poskytovaných jim druhými pracovišti. Do přípravy předpovědí vkládají svoji invenci a zkušenosti. „Servisní“ pracovníci ovládají naopak moderní škálu techniky a průběžně získávané informace rozvíjejí. Úloha synoptiků je v tomto směru zcela pasivní. Tuto svoji roli zdůvodňují tím, že jsou zahlceni povinnostmi vydávat průběžně předpovědi a soustavně poskytovat informace o průběhu počasí zvláště v krizových situacích. Tyto informace, bohužel, nepředávají přímo médiím či institucím, ale zprostředkovatelským agenturám majícím licenci příslušných meteorologických ústavů, včetně ČHMÚ. Na výzkumu a vývoji metodik, které používají, se nepodílejí, maximálně se někteří z nich snaží o sofistikované vyhodnocování jejich úspěšnosti. Přes neustálou kritiku kvality numerických předpovědí termobarických polí, teploty, srážek, větru atd. jim nebrání denně ji používat. Jsem přesvědčen, že vývoj budoucího termobarického pole si bez numerických předpovědí nedokáže představit vůbec. V čem je tedy problém?

Do prognostických center přichází denně pět až šest typů předpovědí z různých center. Jedná se o globální a regionální předpovědi s vysokým horizontálním a vertikálním rozlišením a maximálním počtem fyzikálních parametrizací, odrážející současný stupeň poznání. I když mají modely obecně shodnou konstrukci, lišící se pouze integrační technikou a použitou orografií a u objektivních analýz volbou předběžného pole, dochází někdy k výrazným rozdílům ve vlastních výstupech. Tím je synoptik vystaven dilematu, který model upřednostnit na úkor ostatních. Protože nezná konstrukci žádného modelu (starší tuto problematiku nestudovali nebo se jí nevěnovali), je odkázán stejně jako v minulosti (za dob maximálního rozkvětu synoptiky) na subjektivní posouzení, na svoji paměť (která je většinou velmi vytříbená) a eliminační schopnost vybrat model s optimálním vývojem. Do takto zvoleného modelu implementuje fronty umožňující mu známými mechanismy definovat počasí.

Které další postupy z plejády nabízených je synoptik schopen využívat? Tvrdím – žádné. Synoptik brání se tím, že nemá čas, není zcela upřímný, protože oproti předchozím letům je osvobozen od mnoha rutinních postupů. Má k dispozici jak animace termobarických polí, tak animace průběhu minulého vývoje oblačných systémů a jejich transformací do srážkových pásů stanovených radarovými měřeními. Navíc má k dispozici minimálně stovku odvozených veličin a parametrů, počínaje divergencí, vorticitou, potenciální vorticitou, vertikálních rychlostí, a konče Q-vektory. Může disponovat prognostickými vertikálními profily termobarických veličin z libovolně zvolených míst včetně meteogramů. Jsem přesvědčen, že většina těchto veličin tvoří pouze meteorologický šum. Opět se však nelze divit, protože starší synoptik se nikdy s těmito veličinami a hlavně s jejich interpretací nesetkal, a tudíž ji nemůže zodpovědně používat (jde o velký hřích vysokých škol).

Předpověď počasí občas těmito antagonistickými postoji obou stran trpí. V ČHMÚ, kde sídlí mezinárodní organizace LACE a centrum je vybaveno výjimečně kvalitním a rychlým superpočítačem, je tento problém obzvláště bolestný.

4. BUDOUCNOST

V úvodu jsem zmínil společný jmenovatel obou základních směrů předpovědi počasí. Jsem přesvědčen, že téměř po jednom století je žádoucí, aby se oba směry vrátily k původním ideám, využívající při tom všech současných i budoucích

technických vymožeností k jedinému cíli: zkvalitnit jak krátkodobé, tak, a to především, střednědobé, maximálně však desetidenní předpovědi počasí.

Předpověď počasí se zlepší intenzivním využíváním nových objektivních fyzikálně-matematických metod. Klasická synoptika se bude postupně transformovat na dynamickou meteorologii.

Numeričtí meteorologové, či přesněji řečeno fyzikové, se musí urychleně věnovat nehydrostatickým modelům na bázi Businessových rovnic a nabídnout první praktické výsledky teorie chaosu. Společnými silami se musí věnovat konfrontaci výsledků modelů s měřenými hodnotami jednotlivých prvků na meteorologických stanicích a observatořích. Nemám na mysli, jak to je dnes běžné, popis vyhotovených tabulek a elegantních grafů bez fyzikální invence. Stejně tak nepochybují, že současná generace meteorologů bude i nadále používat rutinní metody.

Rychlost zavádění nového pojetí modelových předpovědí počasí bude závislá na tom, jak tuto nabídku zvládnou jednotlivé katedry vysokých škol. Tvorba nových moderních učebních plánů musí vycházet nejen z profesí, zájmů a orientace pedagogů, ale z konsenzu jak s vědeckými, tak provozními institucemi všech typů. Musí dojít k výrazné specializaci kateder a škol. Netýká se to pochopitelně jen meteorologie, ale i klimatologie. Tento obor se v posledních letech diferencuje hrubě řečeno na klasickou klimatologii se statistikou a klimatologii modelující klima s cílem předpovědi klimatických změn, vycházející při tom z teorie klasických modelů. Zatím interpretace jejich nedokonalých výsledků straší obyvatelstvo z následků růstu skleníkových plynů.

5. ZÁVĚR

Po tomto velmi hrubém rozboru si položíme otázku, jaké jsou možnosti dalšího rozvoje dosud převládající synoptické metody předpovědi počasí. Jsem přesvědčen, že žádné. Zelenou budou mít v příštích padesáti letech stále propracovanější regionální modely na nehydrostatické bázi. Fronty tvořící základní berličky synoptiků na celém světě budou nahrazeny vypočítanými a počítačem taktéž formulovanými předpověďmi.

Meteorologové – v první fázi přeškolení synoptici – budou tyto objektivní (na nich nezávislé) postupy kontrolovat. Po většinu času budou studovat zpětné vazby mezi výsledky modelů a vlastním průběhem počasí. Pro tento progresivní a nezadržitelný vývoj bude nutné splnit dvě podmínky:

I. Bez ohledu na optimalizaci a nedostatek finančních prostředků podstatně zahustit síť profesionálních meteorologických stanic a observatoří měřících komplexní škálu atmosférických jevů.

II. Radikálně změnit učební osnovy na vysokých školách.

Pedagogové již řadu let dobře vědí či aspoň tuší, že výuku je nutné transformovat, ale dosud se k tomu neodhodlali. Stále se intenzivně učí klasická synoptika a desítky hodin se věnují analýze povětrnostní mapy. Dynamické předpovědní metody musí být rozšířeny a doplněny o aplikační metody z nich plynoucí.

Tento proces nebude skokový, bude postupně nabíhat, předpokládám jeho ukončení nejspíše za deset let. V tomto období se musí synoptičtí meteorologové intenzivně věnovat studiu speciálních povětrnostních situací zatím špatně postížených modely. Oba tábory musí spolupracovat v zájmu kvalitní předpovědi počasí s plným vědomím, že tato fyzikální disciplína má oproti ostatním oborům fyziky zásadní hendikep – nikdy nebudeme moci opakovat žádný pokus a tak si ověřovat své úvahy.

OPTIMALIZACE KATEGORIÁLNÍCH PŘEDPOVĚDÍ

Optimization of categorial forecasts. The methodology of user-dependent optimization of probabilistic forecasts according to the draft of WMO Standardized Verification System for Long-Range Forecasts is described in the paper. The definitions of deterministic, categorial and probabilistic forecasts are given and the simple kind of transformation of probabilistic forecast into deterministic presumption of event occurrence is described. Then the methods of forecast validation, which is the necessary step for optimization, are shown. Subsequently, the basic validation characteristics (HR – Hit Rate, FAR – False Alarm Rate, PC – Percent Correct) and ROC (Relative Operating Characteristics) are defined. Meteorological approach to forecast optimization (maximalization of PC characteristics) is described too. Then the construction of user-dependent loss matrix is shown and the value of the forecast to the user is defined. The loss matrix, if used together with the validation contingency table, makes the user-dependent optimization of the whole forecast system possible. Here, optimization means the maximalization of the forecast value. It is also shown, that the meteorologically optimized and user-optimized forecast systems may differ. Maximal effect of the optimization may be expected in the systems with low predictive skill, as for instance some meteorological forecasts and the majority of climatological forecasts.

KLÍČOVÁ SLOVA: předpověď počasí – optimalizace předpovědi – validace předpovědi – metody statistické

1. ÚVOD

Předpovědi počasí slovně nebo graficky vyjadřují budoucí stav povětrnostních podmínek a mají zpravidla pravděpodobnostní a nikoli striktně deterministický charakter [4]. Pravděpodobnostní přístup k předpovědi je zdůvodňován hned několika okolnostmi. Obecně je hlavním důvodem skutečnost, že jakákoli předpovědní metoda zachycuje atmosférické děje a jejich vývoj jen v určitém přiblížení. Tak např. statistické předpovědní metody jsou zpravidla schopny postihnout nejčastější nebo převládající způsoby vývoje atmosférických procesů, ale nelze je bez výhrady aplikovat na každý jednotlivý případ. U dynamických předpovědních metod se uplatňuje nemožnost zcela přesného zjištění počátečního stavu atmosféry i skutečnost, že matematické popisy atmosférických procesů jsou rovněž jen jistým přiblížením se realitě, nikoli realita samotná. Žádná meteorologická předpověď tedy nemůže být dokonalá, se zaručenou stoprocentní úspěšností. Každá s sebou nese jistý stupeň nejistoty a riziko neúspěchu.

U předpovědi na delší období (měsíčních nebo sezonních klimatologických předpovědí) vstupuje do hry navíc ještě jeden faktor, a to vliv tzv. chaotických složek. Zatímco u předpovědi na kratší období je tento vliv ve srovnání s deterministickými procesy zpravidla poměrně slabý, se zvyšujícím se horizontem předpovědi roste a u předpovědi na delší období (měsíce, sezony) se může stát vlivem dominantním. Z tohoto důvodu nelze v dnešní době sestavovat dlouhodobé předpovědi na deterministickém základě. Chaos zde však neznamená totální absenci jakýchkoli pravidel, i chaotické složky chování atmosféry jsou podřízeny fyzikálním zákonům. Sice je nelze popsat deterministicky (ze statistického hlediska mají spíše charakter náhodných vlivů), ale statistický popis jejich celkového působení bývá možný. V tom případě je nutný přísně pravděpodobnostní přístup, při kterém není předpovídán budoucí stav atmosféry jako takový, ale statistické charakteristiky jeho předpokládaného vývoje (přesněji statistické charakteristiky celé množiny možných realizací budoucího vývoje atmosféry). Náhodné vlivy dokonce mohou i systematicky ovlivňovat některé charakteristiky klimatického systému – viz např. [2].

Meteorologie a klimatologie dnes pracují s širokou škálou předpovědí, od systémů s velice vysokou úspěšností až po

systémy s poměrně nízkou předpověditelností. Vzhledem k chaotické povaze klimatického systému není nic překvapivého na tom, že relativně více úspěšné jsou především předpovědi na kratší období (několik dnů). Naopak v klimatologii, kde se začíná pracovat s předpověďmi na období od 1 měsíce až po několik sezon, je předpověditelnost obecně poměrně nízká.

V této situaci však vstupuje do hry uživatel. Ten se často musí na základě předpovědi (více či méně nejednoznačné) rozhodnout jednoznačně. Velice zřejmé je to zejména v problematice reakce na informace typu výstrahy či upozornění, kdy uživatel zpravidla dostane informaci o možnosti výskytu nějakého potenciálně nebezpečného jevu a musí se rozhodnout, jak (a zda vůbec) bude reagovat. Přitom jeho rozhodnutí musí být v mnoha případech jasně deterministické, buď „ano“ nebo „ne“. Potřebná opatření zpravidla nelze realizovat „napůl“. Má tedy při indikovaném riziku výskytu nějakého potenciálně nebezpečného jevu opatření realizovat, navíc ještě v situaci, kdy si je vědom, že meteorologická předpověď je zatížena jistým stupněm nejistoty? Co když provede předběžná opatření (často poměrně nákladná), ale jev nenastane? A co když naopak předběžná opatření neprovede a jev nastane? Kde je mez únosného rizika? Toto rozhodování nebývá jednoduché, mimo jiné i proto, že zde často mohou být ve hře zdraví a životy obyvatel nebo velké škody na majetku, ale na druhé straně i velké náklady na realizaci předběžných opatření.

Jedna z možných cest, jak objektivizovat a optimalizovat toto nesnadné a někdy i riskantní rozhodování pro některé typy předpovědí, bude popsána v tomto příspěvku.

Vzhledem k tomu, že popisovaná problematika je v české meteorologické literatuře nová a česká terminologie se dosud v řadě případů neustálila, budu v dalším textu používat vedle české terminologie i její anglické ekvivalenty tak, jak jsou používány v zahraniční literatuře.

2. TYPY PŘEDPOVĚDÍ

Podle [5] lze rozdělit předpovědi do několika základních typů podle toho, jaký druh informace obsahují. Základní dělení je na předpovědi deterministické a pravděpodobnostní. Deterministické předpovědi můžeme chápat jako tvrzení

o budoucím stavu atmosféry nebo některých jejích charakteristik (např. „Předpokládána odchylka od normálu bude D “ nebo „Jev J nastane“). Deterministické předpovědi mají tu vlastnost, že porovnáním s později zjištěnou skutečností lze o každé jednotlivé předpovědi zjistit, zda a do jaké míry byla úspěšná nebo ne. Deterministické předpovědi lze dále dělit na předpovědi kategoriální a nekategoriální. Nekategoriální předpovědi uvádějí předpoklad určité hodnoty nějaké kvantitativní veličiny (viz první z výše uvedených příkladů), zatímco kategoriální předpovědi udávají předpokládanou příslušnost daného jevu do nějaké předem zvolené kategorie (druhý příklad). Deterministický charakter mají např. i výstupy z numerických předpovědních modelů, pokud je model integrován jen 1x, lze za ně ale považovat i např. ensemblové průměry při vícenásobných integracích modelů nebo i výstupy z některých statistických modelů (viz dále).

Opakem deterministické předpovědi je předpověď pravděpodobnostní. Ta neformuluje žádné tvrzení o budoucím stavu, pouze uvádí předpokládanou pravděpodobnost výskytu nějakého jevu. Pravděpodobnostní předpovědi bývají zpravidla kategoriální a vyjadřují tedy pravděpodobnost toho, že daný jev bude patřit do nějaké předem zvolené kategorie (např. „Pravděpodobnost výskytu jevu J je $X\%$ “). O žádné jednotlivé pravděpodobnostní předpovědi nelze tedy ani dodatečně zjistit, zda byla úspěšná nebo ne, pojem úspěšnosti nebo neúspěšnosti jednotlivé předpovědi zde ztrácí smysl. Kvalitu takového předpovědního systému lze vyhodnotit jedině statistickým porovnáním předpovědi se skutečností za delší časové období.

Jak již bylo naznačeno v úvodu, každá meteorologická předpověď je zatížena jistým stupněm nejistoty. Ani výstupy z numerického modelu, i když jsou z formálního hlediska často deterministické, nelze považovat za naprosto dokonalou a spolehlivou předpověď a určitý stupeň nejistoty je i zde. Každá meteorologická předpověď, i ta, která je z čistě formálního hlediska deterministická, je svým významem ve skutečnosti pravděpodobnostní a každá má svůj stupeň nejistoty. Meteorologové znají tento problém velice dobře. Uživatel se ale často musí na základě předpovědi (do určité míry nejisté) rozhodnout jasně a jednoznačně. Jinak vyjádřeno – musí vhodným způsobem transformovat tuto pravděpodobnostní předpověď na deterministicky vyjádřený předpoklad, zda jev nastane nebo ne. Nejde zde ovšem v pravém slova smyslu o transformaci pravděpodobnostní předpovědi na předpověď deterministickou, spíše o způsob deterministického rozhodování na základě pravděpodobnostní předpovědi. Proto v dalším textu budu pro tuto deterministickou informaci používat pojem „předpoklad“, abych ji odlišil od předpovědi v meteorologickém slova smyslu. Na základě tohoto předpokladu se pak uživatel rozhoduje, zda předběžná opatření realizovat či nikoli.

Transformaci samotnou lze provést velice jednoduchým způsobem. Předpokládejme, že podle pravděpodobnostní předpovědi je pravděpodobnost výskytu určitého jevu J rovna P , $P \in \langle 0;1 \rangle$. Předpokládejme dále, že existuje prahová hodnota pravděpodobnosti T , $T \in \langle 0;1 \rangle$, taková, že pro $P \geq T$ je již riziko výskytu jevu J příliš vysoké a že je třeba přijmout předběžná opatření. Výsledkem transformace pak bude deterministický předpoklad, že jev J nastane a uživatel by měl realizovat příslušná opatření pro eliminaci nebo omezení hrožících škod. Naopak při $P < T$ bude výsledkem transformace předpoklad, že jev J nenastane, což signalizuje, že předběžná

opatření nejsou nutná. Prahová hodnota T tak vlastně vyjadřuje mez únosného rizika.

Je zřejmé, že výsledky takové transformace, a tedy i způsobu rozhodování uživatele, jsou silně závislé na zvolené hodnotě T . Zde se ale doslova vnučuje otázka, kterou meteorologové řeší v podobných situacích velice často: Kde je tato mez únosného rizika? A lze ji optimálně určit?

3. VALIDACE PŘEDPOVĚDI

Optimalizace deterministického rozhodování na základě pravděpodobnostní informace představuje samostatný statistický problém. Prvním krokem optimalizace je validace předpovědního modelu. Ta slouží především ke zjištění, jak se model při takovém rozhodování chová a jaké jsou statistické parametry jeho rozhodování. Validace předpokládá, že máme k dispozici jak předpovědní model s pravděpodobnostním výstupem, tak i odpovídající údaje o skutečném výskytu daného jevu z pozorování.

Při validaci modelu je ale třeba dodržet jednu velice důležitou zásadu. Validace musí být totiž prováděna na nezávislých datech, tedy na datech, která nebyla použita k vývoji modelu samotného. Důvod je jasný. Při skutečném použití modelu v předpovědní praxi budeme pracovat s modelem, odvozeným z dat za určité období. Předpovídat ale budeme hodnoty pro jiné období, nezávislé na datech, která byla k vývoji modelu použita. Nedodržení zásady validace na nezávislých datech by mělo za následek, že by podmínky, pro které je model validován, neodpovídaly podmínkám, ve kterých bude později pracovat a to by pochopitelně vedlo ke zkreslení výsledků celé validace. Nejčastějším důsledkem chybně provedené validace je pak nereálné a umělé zvýšení úspěšnosti modelu. Statisticky korektní je tedy pouze validace s použitím nezávislých dat.

Ke statistické validaci modelu ale obvykle potřebujeme velké množství validačních dat, aby byly zjištěny charakteristiky průkazné a reprezentativní. Pokud toto dostatečné množství vstupních dat k dispozici je, lze postupovat tak, že celý datový soubor rozdělíme, nejlépe náhodně, na dvě zpravidla stejně početné podmnožiny. Jednu z nich použijeme k vývoji modelu, druhou k jeho nezávislé validaci, tedy ke zjištění potřebných statistických charakteristik. Pochopitelně je možné následně obě podmnožiny vyměnit, odvodit model i z druhé z nich a validovat ho pomocí první. Parametry i validační výsledky obou takto získaných a validovaných modelů lze pak statisticky testovat na shodu.

Podmínka dostatečné velikosti obou podmnožin datového souboru ale omezuje použití tohoto postupu prakticky jen na případy, kdy je předpověď zpracovávána poměrně často (např. denně) a kde i relativně krátké (např. několikaleté) časové období poskytne dostatečné množství dat pro validaci. U předpovědi vydávaných v delším časovém kroku (měsíčních, sezonních apod.) však často ani třicetileté období neobsahuje dostatečné množství dat pro výše uvedený postup. Řešení, které se zde nabízí jako nejjednodušší, tedy prodloužení zpracovávaného období, ale nemusí vždy být řešením dobrým. Je totiž třeba vzít v úvahu, že statistické vlastnosti klimatologických charakteristik a jejich vzájemných vztahů se mohou s časem měnit, např. v souvislosti s postupnými změnami chování klimatického systému. Přílišné prodloužení zpracovávaného období pak může mít za následek, že je model odvozován a validován i pomocí dat, která svými statistickými vlastnostmi neodpovídají podmínkám, ve kterých bude model v praxi používán.

Jednou z možností řešení tohoto problému je tzv. křížová validace (cross-validation nebo cross-verification). Ta vychází z předpokladu, že máme k dispozici předpovědní model, pro který lze z empirických dat odhadnout optimální hodnoty jeho konkrétních parametrů. Při samotné křížové validaci se postupuje tak, že ze začátku původního datového souboru vyjmeme jeho jistou, zpravidla ne příliš početnou podmnožinu. U předpovědí vydávaných v měsíčním kroku tak lze např. vyjmout data za 1 měsíc nebo za 1 rok. Parametry modelu odvodíme pomocí zbylých dat, tedy pomocí datového souboru po vyjmutí uvedené podmnožiny. Vyjmutá data pak použijeme jako data nezávislá, ke zjištění validačních hodnot. V další fázi vyjme rovněž velkou podmnožinu dat, navazující na předešlou, na zbytek dat opět odvodíme parametry modelu a validujeme pomocí vyjmuté podmnožiny. Tak postupujeme až do konce souboru. Konkrétně např. při validaci pomocí dat za roky 1961–1990 nejprve vyjme rok 1961, parametry modelu odvodíme z dat 1962–1990 a data z roku 1961 použijeme ke zjištění validačních charakteristik. Pak vyjme rok 1962, parametry modelu odvodíme pomocí dat z let 1961, 1963–1990 a pomocí dat z roku 1962 zjistíme validační hodnoty. Tak postupujeme až k poslednímu kroku, kdy parametry modelu odvozujeme z dat 1961–1989 a k validaci použijeme data z roku 1990. Celkový rozsah validačních dat je tedy stejný, jako byla velikost původního datového souboru, ale validace byla v každém jednotlivém kroku důsledně prováděna na datech, která byla nezávislá na datovém souboru, s jehož pomocí byly odvozeny parametry modelu.

Jak bylo uvedeno výše, tento postup validace lze využít, je-li k dispozici pravděpodobnostní výstup z předpovědního modelu. To je nejčastější případ statistických modelů. Dynamické předpovědní modely jsou ovšem svou formou deterministické, jejich výstupem není pravděpodobnost výskytu nějakého jevu, ale přímo deterministická informace o tom, zda jev nastane nebo nenastane. Tato informace, i když je po formální stránce deterministická, není ale zcela přesná a spolehlivá. Proto nelze brát deterministický modelový výstup bez dalšího zpracování jako základ pro následné rozhodování. I zde je tedy snaha získat informaci spíše pravděpodobnostního charakteru. Toho lze docílit pomocí tzv. ensemblového přístupu. Ten vychází ze skutečnosti, že při integraci numerického modelu neznáme zcela přesně počáteční stav atmosféry (vlivem chyb měření, nespojitých vstupních dat, chyb asimilace dat apod.) a ani fyzikální a matematické postupy, použité při integraci, neodpovídají zcela přesně realitě (nutnost parametrizace některých veličin a procesů, vliv výpočtů nikoli ve spojitém prostředí, ale v síti uzlových bodů apod.). Integrace modelu se při ensemblovém přístupu neprovádí jen jednou, ale vícekrát, vždy z poněkud jiných počátečních podmínek. Do počátečních podmínek se před zahájením každé integrace uměle vnesou jisté náhodné odchylky (perturbace), svou velikostí srovnatelné s nejistotou v určení příslušných veličin. Je pochopitelné, že i výsledky se pak budou vzájemně poněkud lišit. Tímto postupem lze jednak zjistit citlivost modelu na přesné určení počátečních podmínek, jednak odhadnout pravděpodobnost výskytu nějakého jevu (např. jako podíl počtu simulací, které signalizují, že jev nastane, na celkovém počtu provedených simulací). V poslední době se začínají prosazovat i tzv. multimodelové ensembly, tedy ensembly, sestavené pomocí několika různých předpovědních modelů. Jejich výhody lze vidět jednak v tom, že umožňují sestavení daleko početnějších ensemblů, než je možné při použití pouze jediného modelu, a také v tom, že

jsou integrace prováděny pomocí vzájemně poněkud odlišných matematických a fyzikálních postupů.

Samotná validace dynamických modelů se provádí pomocí ensemblových simulací z počátečních podmínek, získaných z historických pozorování za určité období. Při tom je třeba důsledně dbát na to, aby tyto validační simulace byly provedeny pouze s použitím dat, která časově předcházejí počátečnímu okamžiku integrace.

Validace dynamických modelů ensemblovou metodou je však velice náročná. Budeme-li např. chtít validovat model s denními předpověďmi, tj. model je denně integrován na 24 hodin dopředu, za období 20 let a s desetičlennými ensembly, pak musíme jen pro účely validace celkem integrovat $365 \times 20 \times 10 = 73\,000$ modelových dnů, což často bývá v praxi těžko realizovatelné. Proto nejsou dosud tyto metody validace dynamických modelů příliš rozšířeny. I v dalším textu se tedy soustředíme spíše na statistické modely, jejichž validace je rychlejší a méně náročná.

4. STANDARDNÍ VALIDAČNÍ CHARAKTERISTIKY

Výstupy pravděpodobnostního modelu je třeba pro další rozhodování nejprve transformovat na deterministický předpoklad typu „ano/ne“. Tato transformace je, jak již bylo uvedeno, závislá na zvolené prahové hodnotě T .

Základním produktem validace modelu je tzv. validační matice. Ze statistického hlediska jde o kontingenční tabulku, která shrnuje počty nebo četnosti případů, kdy jev byl/nebyl předpokládán a ve skutečnosti nastal/nenastal, a to ve všech možných vzájemných kombinacích. Kontingenční tabulka má tedy následující podobu:

		PŘEDPOKLAD		
		ANO	NE	SUMA
SKUTEČNOST	ANO	H	M	H + M
	NE	FA	CR	FA + CR
	SUMA	H + FA	M + CR	H + M + FA + CR

Kde

H (Hit – „trefa“) je počet nebo četnost případů, kdy jev byl předpokládán a skutečně nastal;

M (Miss – „chyba“) je počet nebo četnost případů, kdy jev nebyl předpokládán, ale nastal;

FA (False Alarm – „falešný poplach“) je počet nebo četnost případů, kdy jev byl předpokládán, ale nenastal;

CR (Correct Reject – „správné vyloučení“) je počet nebo četnost případů, kdy jev nebyl předpokládán a nenastal.

Je evidentní, že kategorie **H** a **CR** jsou z hlediska výsledku předpovědi příznivé, a naopak kategorie **M** a **FA** nepříznivé. Na tomto místě je třeba upozornit i na jeden terminologický problém. V běžné praxi je často za úspěšnou považována jak předpověď, kdy jev byl předpokládán a nastal, tak i předpověď, kdy jev nebyl předpokládán a nenastal (tedy kategorie **H** i **CR**). Při validaci modelu je ale třeba oba tyto případy „úspěšné“ předpovědi důsledně rozlišovat. Podobně lze za „neúspěšnou“ považovat jak předpověď, kdy jev nebyl předpokládán, ale nastal, tak i předpověď, kdy jev předpokládán byl, ale nenastal (tedy kategorie **M** a **FA**). I zde je však třeba důsledně rozlišovat okolnosti „neúspěchu“ předpovědi. Vzhledem k tomu, že v české terminologii by mohl být problém s termíny „úspěšná“ a „neúspěšná“ předpověď, budu se, kde to bude nutné, držet spíše terminologie anglické, která je v literatuře obecně rozšířena a používána a je z tohoto hlediska jednoznačná.

Je zcela zřejmé, že při transformaci pravděpodobnostní předpovědi na deterministický předpoklad způsobem, jaký byl popsán v závěru 2. kapitoly, hraje velkou roli konkrétní použitá hodnota prahové pravděpodobnosti T . Snižuje/zvyšuje-li se totiž tato prahová hodnota T , pak se zvyšuje/snižuje podíl předpokladů, že jev nastane a naopak snižuje/zvyšuje se podíl předpokladů, že jev nenastane. Obecně jsou tedy hodnoty H , M , FA a CR závislé na prahové hodnotě T . Podíl případů, kdy jev ve skutečnosti nastal nebo nenastal, je ale na prahové hodnotě T nezávislý, tedy podle kontingenční tabulky jsou součty $H + M$ i $FA + CR$ pro danou validaci konstantní a nezávislé na hodnotě T . Hodnoty H , M , FA a CR se tedy mohou v závislosti na hodnotě T měnit pouze v mezích konstantních součtů $H + M$ a $FA + CR$.

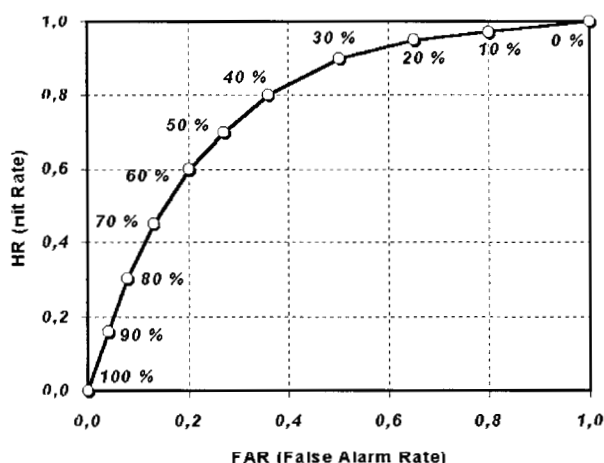
Je-li výsledkem validace modelu kontingenční tabulka, obsahující počty případů, pak vydělením všech hodnot v tabulce součtem $(H + M + FA + CR)$ snadno získáme odhady četnosti výskytu jednotlivých kombinací předpovědi a skutečného výskytu jevu.

Obecná závislost hodnot H , M , FA a CR na prahové hodnotě T ale znamená, že pro každou předem zvolenou hodnotu T lze sestavit jinou kontingenční tabulku. Je tedy třeba mít kritéria, která porovnají různé kontingenční tabulky (tedy tabulky pro různé prahové hodnoty T). Při vyhodnocování kontingenčních tabulek se standardně používají dvě kritéria:

- **HR** (Hit Rate – „podíl úspěchů“) = $H/(H + M)$, tedy podíl úspěšných předpokladů, že jev nastane, na celkovém počtu předpokladů, že jev nastane;
- **FAR** (False Alarm Rate – „podíl falešných poplachů“) = $FA/(FA + CR)$, tedy podíl falešných poplachů na celkovém počtu předpokladů, že jev nenastane.

Snahou meteorologa je pochopitelně co nejvyšší hodnota **HR** při co nejnižší hodnotě **FAR**. **HR** i **FAR** se mění v závislosti na hodnotě T , pro obě je typická nerostoucí závislost na T (nerostoucí podíl předpovědí, že jev nastane, na celkovém počtu vydaných předpovědí). Pro $T = 0$ je jev předpovídan vždy, tedy $M = CR = 0$ a proto $HR = FAR = 1$. Pro $T = 1$ není jev předpovídan nikdy, $H = FA = 0$ a tedy $HR = FAR = 0$. Pro každou prahovou hodnotu T tedy lze vypočítat jak charakteristiku **HR**, tak i **FAR**.

V poslední době se pro hodnocení a vzájemné porovnávání



Obr. 1 ROC popisuje závislost charakteristik **HR** a **FAR** na zvolené prahové hodnotě pravděpodobnostní předpovědi.

Fig. 1. ROC describes the dependency of **HR** and **FAR** on the selected threshold value of probabilistic forecast.

ní úspěšnosti různých metod kategoriální předpovědi velice často používá ještě jedno kritérium – tzv. **ROC** (Relative Operating Characteristics). Jeho výhodou je především to, že popisuje úspěšnost dané předpovědní metody jako celku. Definice **ROC** vychází z dříve vypočítaných charakteristik **HR** a **FAR** pro různé prahové hodnoty T .

Hodnota **ROC** je dána z průběhem křivky **ROC** na grafu, ve kterém vodorovná osa reprezentuje hodnoty **FAR** a svislá osa hodnoty **HR** (obr. 1).

Každé hodnotě T bude tedy odpovídat jeden bod v grafu, daný příslušnými hodnotami **HR** a **FAR**. Zakreslíme-li tyto body pro různá T a spojíme je křivkou, dostaneme tzv. křivku **ROC**. Plocha celého grafu je jednotková, neboť jak **HR**, tak i **FAR** mohou nabývat pouze hodnot od 0 do 1. Diagonála, spojující levý dolní roh grafu s pravým horním rohem odpovídá situaci, kdy v celém rozsahu hodnot T (tedy pro všechna $T \in (0;1)$) je $HR = FAR$. To je případ předpovědní metody, která nemá žádný prognostický potenciál, neboť „podíl úspěchů“ je pro každé T stejný jako „podíl falešných poplachů“. Podobného výsledku lze ovšem dosáhnout např. i náhodnými výběry. Z grafu je navíc zřejmé, že plocha pod touto diagonálou je rovna 0,5. V teoretickém případě naprosto dokonalé předpovědní metody naopak pro všechna $T \in (0;1)$ platí, že $HR = 1$ a $FAR = 0$. Křivka **ROC** pak prochází levým horním rohem grafu (bodem $HR = 1$, $FAR = 0$) a plocha pod křivkou je rovna 1. U reálně používaných předpovědních metod je snaha, aby pro všechna $T \in (0;1)$ bylo $HR > FAR$, tedy aby body na grafu pro různá T byly nad diagonálou. Pro samotnou charakteristiku **ROC**, definovanou jako plocha pod křivkou **ROC**, pak platí, že $0,5 < ROC < 1$. Čím více se **ROC** blíží hodnotě 0,5, tím menší je prognostický potenciál dané metody. Při hodnotách **ROC** blízkých k 1 je naopak předpovědní potenciál metody vysoký. Hodnota **ROC** samotná není závislá na prahových hodnotách T , ale popisuje, jak se při změnách hodnoty T mění vztah mezi „podílem úspěchů“ **HR** a „podílem falešných poplachů“ **FAR**. Používá se především ke vzájemnému porovnávání různých předpovědních metod.

5. OPTIMALIZACE KATEGORIÁLNÍ PŘEDPověDI Z HLEDISKA METEOROLOGA A UŽIVATELE

Optimalizací předpovědní metody je v případě kategoriálních předpovědí myšlen požadavek nalezení takové prahové hodnoty T , při které je maximalizována vhodně vybraná charakteristika, popisující úspěšnost předpovědi. Za základní kritérium úspěšnosti kategoriální předpovědi lze považovat např. kritérium

$$PC \text{ (Percent Correct)} = (H + CR) / (H + M + FA + CR),$$

neboli podíl „správných“ předpokladů (jev byl předpokládán a nastal nebo nebyl předpokládán a nenastal) na celkovém počtu vydaných předpokladů. I tato charakteristika se mění v závislosti na T . Optimalizace předpovědi z hlediska charakteristiky **PC** (Percent Correct) tedy znamená zpracovat validační kontingenční tabulky pro různé prahové hodnoty T (v praxi zcela stačí pro T od 0 do 1 s krokem 0,1) a jako optimální vybrat tu hodnotu T , při které je charakteristika **PC** nejvyšší. Taková volba prahové hodnoty T zajišťuje maximální procentuální úspěšnost metody.

Podívejme se teď na celou situaci z pohledu uživatele předpovědi. Na první pohled by se mohlo zdát, že „meteorologicky“ maximálně úspěšná předpovědní metoda (tedy metoda, optimalizovaná z hlediska charakteristiky **PC**), je opti-

mální i z hlediska uživatele. V takové předpovědi totiž uživatel, statisticky vzato, dostává nejvyšší možný podíl „správných“ předpokladů o budoucím výskytu daného jevu (tedy v kategoriích **H** a **CR**), a naopak nejnižší možný podíl „nesprávných“ předpokladů (v kategoriích **M** a **FA**).

Uživatele ale ve skutečnosti nezajímá ani tak procentuální „správnost“ předpovědi, ale spíše ekonomický efekt, který mu použití předpovědi může přinést. Ten je evidentně závislý nejen na validačních charakteristikách samotné předpovědní metody, ale i na možném ekonomickém efektu (tj. zisku či ztrátě) při různých kombinacích předpokládaného výskytu daného jevu a jeho pozdější realizace. K popisu ekonomického efektu při možných kombinacích předpokladu a skutečnosti slouží tzv. ztrátová matice. I přes tento název nemusí ztrátová matice popisovat vždy jen ekonomické ztráty, lze sestavit i ztrátovou matici se zápornými hodnotami (tedy zápornými ztrátami), které lze v praxi chápat jako „ziskovou“ matici. Pro jednoduchost se ale v dalším textu omezíme pouze na odhady ztrát a tedy na ztrátovou matici.

Předpokládejme, že pokud nějaký jev nastane, aniž by byla realizována předběžná opatření, utrpí uživatel ztrátu **L** (z anglického „loss“). Je zřejmé, že v takovýchto případech mohou uživateli hrozit i poměrně velké ztráty. Pokud jev nastane, ale předběžná opatření realizována byla, lze předpokládat snížení ztrát. Samotná předběžná opatření si sice vyžadují náklady o velikosti **C** (z anglického „cost“), ale s jejich pomocí se podaří snížit ztrátu na hodnotu **RL** (Reduced Loss), kde $RL < L$. Třetí možností je, že předběžná opatření byla realizována, ale jev nenastal. V tomto případě byly vynaloženy náklady jen na zbytečně realizovaná předběžná opatření **C**, ale škody jsou nulové. V posledním případě, kdy předběžná opatření realizována nebyla a jev nenastal, nejsou ani žádné škody a ztráta je v tomto případě nulová.

Tyto hodnoty lze zapsat do ztrátové matice následujícím způsobem:

		PŘEDPOKLAD	
		ANO	NE
SKUTEČNOST	ANO	RL + C	L
	NE	C	-

Pokud validační matice předpovědní metody obsahuje četnosti výskytu jednotlivých kombinací předpokladu a skutečnosti, pak lze ekonomickou hodnotu předpovědi **V** definovat např. jako průměrnou finanční ztrátu, připadající na jednu předpověď, a lze ji tedy odhadnout jako

$$V = H \cdot (RL + C) + M \cdot L + FA \cdot C$$

Ztrátová matice na straně uživatele je pochopitelně nezávislá na prahové hodnotě **T**. Hodnoty ve ztrátové matici jsou dány především hodnotou možných ztrát, cenou předběžných opatření a stupněm, do jakého lze pomocí předběžných opatření ztráty snížit. Validační hodnoty samotné předpovědní metody (tedy hodnoty **H**, **M** a **FA**) ale obecně na **T** závislé jsou. Z toho vyplývá, že hodnota předpovědi **V** je rovněž závislá na volbě prahové hodnoty **T**. Optimalizace hodnoty **V** (v našem případě minimalizace, protože byla použita matice vyjadřující ekonomické ztráty) tedy znamená najít takovou prahovou hodnotu **T**, pro kterou je **V** minimální. Na tomto místě je třeba zdůraznit, že hodnota **T**, při které je **V** minimalizováno, je obecně jiná, než hodnota **T**, pro kterou je maximalizována charakteristika **PC**. Jinými slovy – předpovědní metoda, optimalizovaná z hlediska meteorologa (podle krité-

ria Percent Correct), nemusí být ekonomicky optimální pro uživatele. Uživateli může naopak ekonomicky více vyhovovat použití jiné prahové hodnoty **T**, pro kterou je ale charakteristika Percent Correct nižší. Optimální předpověď z hlediska meteorologa se tak může lišit od optima z hlediska uživatele.

Jak ale tento zdánlivý paradox vysvětlit? Uvažujme dva různé uživatele, **A** a **B**, kterým může daný meteorologický jev, přijde-li bez varování, způsobit stejnou škodu **L** (tedy $L_A = L_B$). Uživatel **A** může pomocí nepříliš nákladných předběžných opatření C_A výrazně snížit škody na poměrně nízkou hodnotu RL_A . Jak C_A , tak i RL_A jsou tedy výrazně nižší, než L_A a platí i to, že součet $RL_A + C_A$ je výrazně nižší než L_A . Pro uživatele **B** jsou naopak předběžná opatření C_B relativně drahá a ani jejich realizací se mu nepodaří výrazněji snížit škody. Je tedy $RL_B + C_B$ poměrně blízké k L_B .

Za této situace jsou pro uživatele **A** nejnepříznivější situace, kdy jev nastane, ale předběžná opatření realizována nebyla, tedy situace v kategorii **M**. Není pro něj ale finančně tolik náročné realizovat předběžná opatření, a to ani v případě, kdy jsou realizována zbytečně (případy falešných poplachů v kategorii **FA**). Z hlediska validačních charakteristik předpovědní metody tedy uživatel **A** potřebuje především nízký podíl případů v kategorii **M** a vysoký podíl v kategorii **H**, neboli vysokou hodnotu **HR** (Hit Rate). Jak ale bylo uvedeno výše, s růstem hodnoty **HR** zpravidla roste i hodnota **FAR** (podíl falešných poplachů). To však uživateli **A** příliš nevdá, jeho náklady C_A na realizaci předběžných opatření jsou relativně nízké. Uživatel **A** tedy potřebuje realizovat předběžná opatření poměrně často, aby především omezil podíl situací v kategorii **M**, kdy jev nastane bez předchozích předběžných opatření, ale není pro něj ani tak důležité, že se tím zvýší i podíl falešných poplachů. Je pro něj tedy výhodná spíše nižší prahová hodnota pravděpodobnosti **T**.

Pro uživatele **B** naopak i v případě, že jev nastal, není ani tolik důležité, zda předběžná opatření byla nebo nebyla realizována ($RL_B + C_B$ je poměrně blízké k L_B). Tento uživatel potřebuje především redukovat případy falešných poplachů. Ty mu totiž přinášejí zbytečné ztráty, které dokonce ani nejsou způsobeny jevem samotným, ale zbytečně realizovanými a relativně nákladnými předběžnými opatřeními C_B . Potřebuje tedy především nízký podíl **FA** a vysoký podíl **CR**, neboli nízkou hodnotu charakteristiky **FAR**. Klesá-li však **FAR**, klesá zpravidla i **HR** a zvyšuje se podíl případů, kdy jev přijde, aniž by byla předběžná opatření realizována. Jak ale bylo naznačeno výše, to pro něj není až tak důležité. Pro uživatele **B** je tedy výhodné realizovat předběžná opatření méně často, prakticky jen v případech velice vysoké pravděpodobnosti výskytu daného jevu, tedy při relativně vysoké prahové pravděpodobnosti **T**.

V limitních případech lze dojít ke zcela pochopitelným závěrům, že tam, kde hrozí velké škody, které ale lze velice účinně redukovat s vynaložením minimálních finančních prostředků ($RL + C$ je proti **L** zanedbatelné), je optimální hodnota prahové pravděpodobnosti $T = 0$. V tom případě je optimální realizovat předběžná opatření vždy (trvalá opatření). Naopak tam, kde jsou možné jen malé škody nebo kde nelze ani s vynaložením velkých prostředků na předběžná opatření škody výrazněji snížit, je optimální hodnota $T = 1$ a opatření by tedy neměla být realizována nikdy. To je zcela evidentní např. tam, kde sice $RL < L$ (škody lze poněkud snížit), ale $RL + C > L$ (redukováné škody spolu s cenou za předběžná opatření znamenají větší ztrátu, než škody, ke kterým by došlo bez předběžných opatření). Realita je však často někde mezi těmi-

to extrémny. Optimální je nerealizovat předběžná opatření vždy, ale jen při dosažení nebo překročení limitní hodnoty pravděpodobnosti T . Tato limitní hodnota je ale závislá nejen na předpovědní metodě (tedy na hodnotách validační matice), ale i na ztrátové matici na straně uživatele. I při stejné předpovědi, tedy při stejných hodnotách ve validační matici, se optimální hodnota T může u různých uživatelů lišit.

6. ROZDÍLY V OPTIMALIZACI DOBŘE A ŠPATNĚ PŘEDPOVĚDITELNÉHO SYSTÉMU

Jak bylo uvedeno v kapitole 4, kvalitu předpovědního systému lze odhadovat pomocí charakteristiky **ROC**. Vysoké hodnoty **ROC** (blízko k 1) indikují, že existují takové prahové hodnoty T , pro které je charakteristika **HR** vysoká (blízka k 1) a **FAR** nízká (blízka k 0). Při takových hodnotách T má předpovědní metoda vysoký prognostický potenciál. Z předchozí kapitoly je navíc zřejmé, že vysoká hodnota **HR** a nízká hodnota **FAR** jsou v zájmu obou hypotetických uživatelů A i B (A ovšem preferuje především vysoké **HR**, zatímco B spíše nízké **FAR**, oba tyto požadavky však zde mohou být splněny téměř současně). V dobře předpověditelných systémech jsou si tedy optimální hodnoty T pro oba uživatele poměrně blízké, navíc jsou většinou blízké i optimu T z hlediska charakteristiky **PC**. Lze tedy konstatovat, že v dobře předpověditelných systémech s vysokým **ROC** bývá (až na mimořádné případy) optimální hodnota T pro různé uživatele vzájemně velice blízká a navíc i blízká optimální hodnotě z čistě meteorologického hlediska.

V systémech s **ROC** kolem 0,5 evidentně nemá smysl optimalizaci provádět, celkový prognostický potenciál takových systémů je prakticky nulový a žádná optimalizace nemůže přinést větší efekt.

V meteorologické a zejména klimatologické praxi se někdy pracuje i se systémy, které mají **ROC** jednoznačně nad 0,5, ale tato charakteristika zdaleka nedosahuje hodnot, blízkých k 1. Takové systémy (s **ROC** od ca 0,6 do ca 0,8) se vyskytují v meteorologii v případě některých hůře předpověditelných jevů, velice často se s nimi však setkáváme v případě klimatologických předpovědí. I takováto nízká předpověditelnost je ale využitelná v praxi, často s nezanedbatelným ekonomickým efektem. Dobré ekonomické využití potenciálu předpověditelnosti je zde však těsně vázáno na předchozí optimalizaci. Na tomto místě je třeba znovu zdůraznit, že právě zde se mohou systémy, optimalizované pro jednotlivé uživatele, svou prahovou hodnotou T nejvíce lišit a mohou se výrazně lišit i od čistě „meteorologicky“ optimalizovaného systému.

Praxe ze země, kde se takové systémy využívají (např. [3]), ukazuje, že dosažitelný ekonomický efekt takových uživatelsky optimalizovaných kategoriálních předpovědních systémů se pohybuje většinou kolem 10 až 20 %, existují však i případy s efektem nad 30 % (vzhledem k efektu při dřívějším způsobu rozhodování). V [1] jsou např. uvedeny výsledky studie, ve které byl testován efekt včasné regulace hustoty porostu bavlny podle očekávaných klimatických podmínek v Darling Downs v Queenslandu (Austrálie). Optimální hustota porostu, která přináší maximální hektarové výnosy, je totiž do značné míry závislá na teplotních a srážkových podmínkách vegetačního období. Za této situace je evidentní, že předpověď předpokládaných klimatických podmínek následujícího vegetačního období by umožnila včas optimalizovat hustotu porostu s ohledem na maximalizaci výnosů. Předpovědní systém byl založen na velice jednoduchém modelu závislosti podmínek vegetačního období na fázi jižní oscilace, konkrétně na tzv.

SOI indexu. Takto optimalizovaný systém „včasného řízení“ hustoty porostu byl porovnáván s „referenčním“ systémem, ve kterém byla hustota porostu bavlny ponechávána stále stejná a nastavená na dlouhodobě průměrné podmínky. Porovnáním výnosů za delší období se ukázalo, že optimalizovaný systém dává v 80 % případů výnosy stejné nebo lepší než „referenční“ systém, ve 20 % případů byly jeho výsledky horší. Dlouhodobě přinesl optimalizovaný systém zvýšení zisku o 11 % oproti systému „referenčnímu“. I na tomto případě je však vidět, že ani optimalizovaný systém nemůže zajistit zlepšení ekonomického efektu v každém jednotlivém případě (roce), ale že se efekt projeví až při jeho systematické aplikaci v delším časovém období.

7. ZÁVĚR

Uživatelská optimalizace kategoriálních předpovědí představuje velice moderní cestu, jak i v relativně málo předpověditelných systémech maximalizovat ekonomický efekt předpovědi. K tomu je ale nutná velice úzká spolupráce meteorologa s uživatelem. Nejprve musí meteorolog s uživatelem jasně a jednoznačně definovat jevy, jejichž výskyt ovlivňuje ekonomické výsledky uživatele. V klimatologii je tak třeba jasně definovat i pojmy, se kterými často uživatelé operují již dnes, ale které nejsou jasně definovány, např. co znamená pojem „sucho“, „silné sucho“, „mimořádně teplé období“, „vlhká sezona“, „dobré podmínky pro vývoj škůdců“, „velká sněhová pokrývka“ apod. Tyto definice přitom musí vycházet z potřeb každého jednotlivého uživatele. Stejný jev může tedy být pro různé uživatele i různě definován. Pro jednoho uživatele tak může být pojem „sucho“ definován např. jako desetidenní období bez srážek, pro jiného uživatele zase jako měsíc se srážkami pod 50 % normálu, pro dalšího zase jako nejméně týdenní období s denními úhrny srážek pod 1 mm a nadnormálními teplotami apod. V každém případě ale musí být jev jasně a jednoznačně meteorologicky definován. Meteorolog pak musí vyvinout předpovědní model s pravděpodobnostním výstupem, nejčastěji statistický. Ten musí být následně validován na historických datech, např. metodou křížové validace. Uživatel zatím musí co nejpřesněji definovat hodnoty pro ztrátovou matici. Kombinace hodnot ve validační a ztrátové matici pak umožní najít takovou hodnotu prahové pravděpodobnosti T , pro kterou je ekonomický efekt dané předpovědi pro uživatele maximální.

Způsob praktického využití optimalizovaného předpovědního systému je pak již relativně jednoduchý. Uživatel dostává v příslušném předpovědním kroku (den, měsíc, sezona apod.) informaci o předpokládané pravděpodobnosti výskytu daného jevu z předpovědního modelu. Tento způsob usnadňuje distribuci předpovědní informace k uživatelům v tom, že meteorologickým výstupem je jediná hodnota předpokládané pravděpodobnosti, stejná pro všechny uživatele, kteří používají stejně definovaný jev. O dalším postupu rozhoduje uživatel sám, na základě prostého porovnání předpověděné pravděpodobnosti se „svou“ prahovou hodnotou. Je-li předpověděná pravděpodobnost vyšší než prahová hodnota, měl by realizovat předběžná opatření. Pokud je pravděpodobnost nižší, předběžná opatření realizována nejsou. Různí uživatelé však mají různé hodnoty optimalizované prahové hodnoty T , takže jejich optimální rozhodnutí mohou být i v jinak naprosto stejné situaci různá. Je-li například pro uživatele A z předchozí kapitoly optimální prahová hodnota 0,2 a pro uživatele B je to 0,7, pak při předpokládané pravděpodobnosti výskytu daného jevu 0,4 by uživatel A předběžná opatření realizovat měl, zatímco uživatel B nikoli.

Je evidentní, že při změně předpovědního modelu nebo parametrů ztrátové matice na straně uživatele je třeba celý systém znovu optimalizovat.

Optimalizace má však i několik vedlejších produktů, rovněž využitelných v praxi. Umožňuje např. kvantitativní odhad ekonomického efektu předpovědi pro každého jednotlivého uživatele, což je důležitá informace jak pro uživatele samotného, tak i pro meteorologa. Může sloužit i jako základ automatických systémů rozhodování na straně uživatele. Byl-li totiž celý předpovědní systém pro daného uživatele optimalizován výše uvedeným způsobem, pak lze zaručit, že v dlouhodobém horizontu přinese maximální ekonomický efekt. Jakákoli systematická odchylka od tohoto optimalizovaného způsobu rozhodování na jednu či druhou stranu (tedy k nižší či vyšší četnosti realizace předběžných opatření) totiž může znamenat jen zhoršení celkového ekonomického efektu. Důsledné rozhodování na základě velice jednoduchého porovnání předpovídané pravděpodobnosti a uživatelsky optimalizované pravděpodobnosti (meze únosného rizika) je tedy dlouhodobě ekonomicky nejvýhodnější a tento způsob rozhodování uživatele lze velice jednoduchým způsobem automatizovat. Meteorologům může takovýto systém navíc pomoci i při aktivním vyhledávání těch potenciálních uživatelů, pro které by měla daná předpověď maximální ekonomický efekt.

Literatura

- [1] Hammer, G.: Application of Climate Prediction in Agriculture in Australia. In: Proceedings of the International WMO Workshop on Long-range Forecasting and its Applications. Cairo, Egypt, 23-27 January 2000. Programme of Weather Prediction (PWRP) report series No. 14, WMO/TD No, 1000.
- [2] Metelka, L.: Náhodný trend v klimatologických časových řadách. Meteorol. Zpr., 52, 1999, č. 2, s. 41–49.
- [3] Power, S.: The Value of Seasonal Climate Forecasts to Australia. In: Proceedings of the International WMO Workshop on Long-range Forecasting and its Applications, Cairo, Egypt, 23-27 January 2000. Programme of Weather Prediction Research (PWPR), report series No. 14, WMO/TD No. 1000.
- [4] Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha, Academia, MŽP ČR 1993. 594 s.
- [5] Standardized Verification System for Long-Range Forecasts. Version 2.0 (Draft). WMO, Commission for Basic Systems, <http://www.wmo.ch/web/www/DPS/SVS-for-LRF.html>.

Lektor prof. RNDr. Jan Bednář, CSc., rukopis odevzdán v lednu 2001.

INFORMACE

PRVNÍ SEMINÁŘ EVROPSKÉ SÍTĚ PRO KRÁTKODOBOU PŘEDPOVĚĎ POČASÍ O STATISTICKÉ ADAPTACI

Ve dnech 4.–6. prosince se ve Vídni uskutečnil seminář evropské sítě pro krátkodobou numerickou předpověď počasí (SRNWP, program Eumetnetu) poprvé na téma statistické adaptace.

Hlavním úkolem statistické adaptace je pomocí statistických metod přizpůsobit předpověď numerického modelu co nejvíce specifickým poměrům na jednotlivých stanicích nebo v jiných místech měření. Jedná se o statistickou úpravu předpovědi numerického modelu v čase a v místě, ve kterém model sám předpovídá a ve kterém se měří.

V současnosti všechny zúčastněné meteorologické služby aplikují nějaký druh statistické adaptace buď na deterministickou předpověď numerického modelu, nebo na předpověď pravděpodobnostní z ansámbľů, tj. skupinových předpovědí. Jejím výstupem bývá jak deterministická, tak i pravděpodobnostní předpověď. Nejčastěji využívané metody se za posledních 25 let mnoho nezměnily. Na semináři byly prezentovány především metody: MOS (Model Output Statistics), PPM neboli PP (Metoda perfektní prognózy), KF (Kalmanův filtr), v jednom případě také metoda analogů. Rozšiřuje se jak množství možných prediktorů (výchozích polí z výstupů numerických modelů), tak i množství možných prediktandů (prvků předpovídaných pomocí statistické adaptace). Za relativně novější se považuje kombinace některých metod, nejčastěji kombinace MOS a Kalmanova filtru, nebo u ansámbľových předpovědí kombinace PPM a Kalmanova filtru.

Jako nová metoda, využívaná na danou problematiku jak pro deterministickou, tak pro ansámbľovou předpověď, byla prezentována metoda neuronových sítí. Ta je v současnosti ještě spíše testována než operativně využívána.

Na semináři v referátu Aplikace francouzského MOS pro území České republiky byl prezentován systém pro úpravu

předpovědi numerického modelu pomocí statistické adaptace, od dubna 2000 v operativním provozu na ČHMÚ.

Seminář přispěl k získání přehledu o metodách statistické adaptace operativně využívaných i vyvíjených v jednotlivých evropských zemích.

V závěrečné diskusi byly porovnávány výhody a nevýhody jednotlivých metod pro různé využití v předpovědi. Kupříkladu se hovořilo o větší přizpůsobivosti Kalmanova filtru na změny v modelu proti metodě MOS. Na druhé straně byla oceňována rychlejší reakce metody MOS a její přizpůsobivost u změn počasí oproti Kalmanovu filtru, který má velkou setrvačnost na chybu předpovědi v předcházejících dnech. Dalším bodem diskuse byla probírána vhodnost metod statistické adaptace pro modely s vysokým rozlišením. U těchto modelů se ukazuje potřeba statistické adaptace především u pravděpodobnostní předpovědi konvekčních srážek, které mají zvětšenou náhodnost výskytu v jednotlivých bodech oproti modelům s menším rozlišením. Hovořilo se také o možnosti poskytování pravděpodobnostní místo deterministické předpovědi pro předpovědní pracoviště pro některé prvky a přijímání tohoto typu předpovědi u předpovídání počasí. Zkušenosti z jiných zemí ukazují, že tento druh předpovědi může být využíván, ale nikoli pro varovnou službu, založenou na překročení hraničních hodnot, kdy má být podávána výstraha. Posledním problémem do diskuse byl návrh vybrat verifikační metody, které by se využívaly pro porovnání úspěšnosti jednotlivých metod používaných v zúčastněných zemích. Verifikační metody k tomuto účelu nakonec vybrány nebyly, protože většina účastníků chce spíše věnovat energii na spolupráci a společný vývoj metod, než porovnávat výsledky zbytečnou soutěží.

Další seminář SRNWP o statistické a fyzikální adaptaci by se měl konat koncem roku 2002 opět ve Vídni.

Zuzana Huthová

STATISTICKÁ KOREKCE DENNÍCH SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ STANOVENÝCH RADAREM S VYUŽITÍM KLASIFIKOVANÉ REGRESE

Application of classified regression to the statistical correction of radar-based daily precipitation. The paper summarises the results of testing various multiple regression models applied to the adjustment of radar-based daily precipitation to ground measured precipitation amount. The statistical treatment of concern follows the concept of the classified multiple regression where different regression models are developed for different precipitation classes. The decision about the application of the concrete regression model depends on the ground-based precipitation estimate. To estimate the ground-based precipitation the one step correction (weighted average) is applied. Predictors used in the regression models depend on pixel coordinates relative to the radar position, on the rough radar precipitation and in some cases also on the interpolated ground precipitation. The radar-based precipitation was determined from maximum reflectivity measured by Skalky radar (C band Doppler radar Gematronik METEOR360AC). Ground precipitation was reported by more than 600 ground stations giving daily sums. All data come from the period 1996-1998 and the first two years of data are used as a developmental data set. The set includes the data from the extreme precipitation period in 07/1997 when a large part of the eastern Czech Republic was flooded. The 1998 data are applied to the independent verification of the statistical models. The flash flood period (22-23/07/1998) when an organised convective system produced extreme local precipitation (maximum 204 mm in about 10h) is involved in the verification set. The inclusion of large precipitation in the both data sets, the developmental as well as verification one, makes possible the improvement of the radar-based precipitation even in the range of large precipitation values.

The results of classified regression were compared with results obtained by (a) rough radar based estimation, (b) ground based interpolation, (c) non classified multiple regression, and (d) bulk regression model. The improvement expressed by bias and RMSE is large especially in the warm period and for the classes with large precipitation (30-50 mm, >50 mm). In winter the interpolated ground precipitation gives results of the nearly the same quality as the adjusted radar. Tests with various number of ground stations used to provide the first guess precipitation show that the adjusted radar gives better results in the range of 81 stations. Such number of automatic ground stations is available in the Czech Republic. The best technique based on the use of 81 stations is found suitable for the adjustment of daily radar-based precipitation and it is proposed to be used operationally in the Czech Weather Service.

KLÍČOVÁ SLOVA: radar meteorologický – spojení radarového a přízemního měření srážek – rozložení denních srážkových úhrnů – regrese vícerozměrná – verifikace statistického modelu

1. ÚVOD

Srážkové úhrny za určité časové období a jejich plošné rozdělení jsou důležitými údaji zejména pro hydrologické srážkoodtokové modelování. Přesnost stanovení srážkových úhrnů je limitujícím faktorem, který zásadně ovlivňuje úspěšnost hydrologických aplikací a to bez ohledu na použitý hydrologický model, na jeho formulaci a numerickou složitost.

Atmosférické srážky jsou plošně a časově velmi variabilní veličina. Nelze proto očekávat, že plošné rozdělení srážek bude možné reprezentativně popsat sítí pozemních stanic. Měření radarové odrazivosti a následné vyhodnocení srážek je naopak informací o velké plošné hustotě, která umožňuje kvantitativní odhad srážkového úhrnu na dané ploše v podstatě za libovolný časový interval. Přímé využití radarových dat při kvantitativním odhadu srážek má však řadu omezení vyplývajících již z principu radarového měření. Zdrojům chyb v radarovém odhadu srážek, možností jejich redukce a vztahu mezi srážkami měřenými na pozemních stanicích a radarovými daty se proto věnuje značná pozornost [3, 12], nebo práce z nedávné doby [1, 6, 8, 10, 16]. V posledních letech bylo publikováno také několik prací, v nichž čeští autoři věnují pozornost některým aspektům převodu radarových výsledků na kvantitativní odhad srážkového úhrnu [14, 15, 17, 18, 21, 22]. Vzhledem ke kvalitní a velmi husté síti stanic, které na našem území měří denní srážkové úhrny, je většina úsilí orientována na korekci denních úhrnů srážek, odvozených z radarových měření. Speciální pozornost byla věnována

na povodňové epizodě z července 1998, na níž autoři demonstrují potenciál různých adjustačních metod [15, 22]. Z výsledků domácích i zahraničních studií je zřejmé, že neexistuje jednoznačný analytický vztah mezi radarovou odrazivostí a množstvím srážek, který by umožnil dostatečně přesný převod měřených radarových dat na srážkové úhrny. Nabízí se však možnost využít při interpretaci radarových dat statistické modelování, při němž je možné vhodným způsobem spojit výstupy radarového měření s dalšími dostupnými informacemi o srážkách.

Při využití radarových dat pro kvantitativní odhad plošných srážkových úhrnů se v současné době používá řada postupů. Velmi komplexní přístup se aplikuje např. v systému NIMROD (např. [10]). Je založen na důkladné kontrole radarových dat, při níž se využívají informace o srážkách, včetně výstupů numerických modelů, satelitních snímků a výsledků pozemního měření srážek. Cílem je odstranit nebo opravit hrubé chyby radaru. Radarová data jsou statisticky porovnávána s pozemním měřením a jsou určeny systematické chyby v závislosti na ploše, časovém intervalu integrace a případně i v závislosti na meteorologické situaci. Získané poznatky pak vstupují do rutinního zpracování radarových dat a provádí se oprava radaru určených srážkových úhrnů zahrnutím systematické chyby. Frekvence, s jakou se provádí výpočet a zahrnutí systematické chyby, se liší pro konkrétní provozní realizace. V anglickém systému NIMROD se opravy počítají a provádějí jednou týdně [10]. Jiný postup spočívá v kontinuálním výpočtu syste-

matických chyb za krátké časové intervaly (1, 3 a 24 hodin) a v jejich bezprostředním využití (viz např. [5]).

Druhým přístupem ke kvantitativnímu využití radarových dat jsou statistické metody. Na základě souboru radarových výstupů (integrovaných srážek odvozených pomocí Z-R relace z radarové odrazivosti) a srážkoměrných dat z pozemních stanic se konstruuje statistické modely, které jsou bez časté obměny rutinně aplikovány. Obvykle se odvozují vícerozměrné regresní modely, které mezi nezávisle proměnné zahrnují, kromě vlastních radarových dat, i charakteristiky místa, ve kterém se určuje srážkový úhrn (vzdálenost od radaru, nadmořskou výšku apod). Regresní rovnice jsou odvozovány buď z dat vztahujících se k termínovým měřením [14, 16, 18], nebo se využívají sumy srážek za delší, např. roční, období [6]. Důvodem pro vývoj regresních modelů se sumovanými hodnotami je snaha minimalizovat systematickou chybu výsledných srážkových polí pro dlouhá období. Nevýhodou tohoto přístupu je, že regresní modely odvozené pro sumy srážek často nedávají dobré výsledky při aplikaci na jednotlivé termíny.

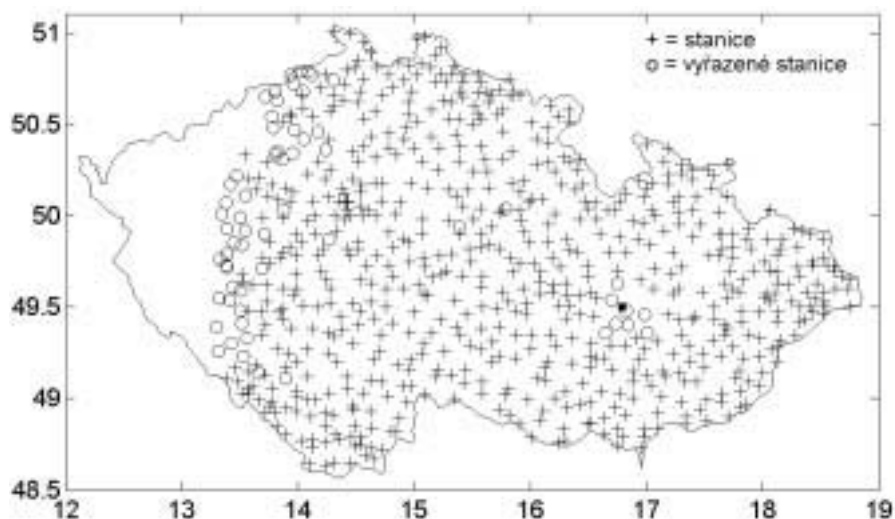
Důležitou moderní metodou je rekonstrukce vertikálního profilu radarové odrazivosti v daném místě a interpolace do dané hladiny [17], resp. extrapolace profilu na zem. Srážky stanovené z extrapolované radarové odrazivosti by měly být dobrou aproximací pozemního měření [2, 13]. Tento postup se s výhodou využívá zejména pro eliminaci vlivu světlého pásu („bright band“) a pro zahrnutí možnosti orografického navýšení srážky [13]. Při aplikaci na konvekční srážky však může i zhoršit výsledné odhady [10].

Převážná většina technik pro adjustaci radarových odhadů srážek pomocí pozemních srážkoměrných dat je založena na vyjádření podílu R/G, kde G jsou srážky na stanici a R jsou srážky určené radarem. Hledá se tedy multiplikativní faktor, kterým se dělí radarové srážky, aby se vypočetly srážky skutečné. Podíl R/G má svůj význam pro dostatečně velké hodnoty R a G. U nízkých hodnot může i malá změna jedné z těchto veličin vyvolat velkou změnu podílu a deformovat příslušný regresní vztah. Proto se používá metoda vážení, kdy se při odvozování regresních koeficientů dávají měřením váhy. Podle práce [7] dávají nejlepší výsledky váhy rovné hodnotám R.

Při adjustaci a verifikaci srážek odvozených z radarových dat se vychází ze srážkoměrných dat, která reprezentují bodový odhad srážky a jejichž plošná reprezentativnost se tedy zásadně liší od odhadu radarového. Experimenty ukazují, že velikost srážek se může výrazně lišit i pro blízká místa (např. [4]). Kromě toho i vlastní měření mohou být zatížena chybami, přičemž nejvýznamnějším zdrojem chyb je turbulence proudění [9]. Ze zásadních rozdílů mezi radarovým a pozemním měřením srážek plyne, že cílem adjustace radaro-

vých srážek je především odstranění systematických chyb radarového odhadu a dosažení takové shody s pozemním měřením, která zajistí kvalitní plošný odhad srážek. Nejde tedy pouze o matematické zajištění přesné shody s bodovým pozemním měřením.

Tento článek je příspěvkem k problematice korekce radarových dat s cílem zpřesnit kvantitativní určení srážek. Je navrženo a testováno několik metod adjustace denních srážkových úhrnů spojením radarových a pozemních měření. Jsou využita měření maximální odrazivosti z radaru Skalky, který je provozně užívaný Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Důraz je kladen na statistické metody adjustace, které využívají vícerozměrnou lineární regresí. Od používaných metod se liší tím, že neaproximují podíl R/G, ale rozdíl G-R a nově používají koncept tzv. klasifikované regrese. Podstatou tohoto postupu je odvození několika regresních modelů pro různé vnější podmínky. V závislosti na splnění dané podmínky se potom aplikuje příslušný regresní model. V navržené metodě adjustace radarových dat se odpovídající regresní model aplikuje v závislosti na předběžném odhadu srážky, který se provádí na základě měření pozemních stanic. Výsledky získané regresními modely tohoto typu jsou srovnány s výsledky několika jednodušších metod. Článek je rozvržen do 6 kapitol. V následující kapitole 2 jsou popsána vstupní data a kapitola 3 charakterizuje studované metody včetně definice užitých prediktorů. Těžiště práce je v kapitolách 4 a 5. V kapitole 4 se studuje přesnost užitých metod v závislosti na hustotě uvažovaných pozemních stanic. Přesnost statistických modelů užívaných radarová data se porovnává s přesností prosté interpolace, resp. extrapolace samotných srážkoměrných dat. V následující kapitole 5 je popsána a testována metoda adjustace radarových dat využívající srážkoměrné stanice v automatické síti ČHMÚ. Závěrečná kapitola 6 stručně shrnuje výsledky práce.



Obr. 1 Poloha 714 srážkoměrných stanic z území České republiky, které jsou v dosahu radaru Skalky. Měření 653 stanic (označena křížkem) byla použita v testech, 61 stanic (označeny kolečkem) nebylo v testech užito vzhledem k nízké hodnotě koeficientu determinace. Poloha radaru Skalky je vyznačena plným čtverečkem. Údaje na souřadných osách uvádějí zeměpisnou šířku a délku.

Fig. 1. Position of 714 gauges over the territory of the Czech Republic, which are covered by the measurement of the radar Skalky. The data from 653 gauges, marked by crosses, were used in the tests. Because of the too low coefficient of determination 61 gauges, marked by circle, were excluded from the input data. The radar Skalky position is marked by full square. The latitude and longitude is shown on the vertical and horizontal axis, respectively.

Tab. 1 Charakteristiky souboru denních srážkových úhrnů měřených 653 stanicemi v letech 1996-97. Jsou uvedeny počet měření N , procentuální zastoupení [%] v jednotlivých kategoriích srážek a odpovídající hodnoty průměru μ a rozptylu σ . Maximální denní úhrn v teplé části roku je 233.8 mm, ve studené části roku 64.9 mm.

Table 1. Characteristics of the daily precipitation data set reported by 653 gauges in the years 1996, 1997. Number of measurements N , relative frequency [%], mean value μ and standard deviation σ are shown for the whole data set as well as for the precipitation categories used. Maximum daily amount of 233.8 mm (64.9mm) was reported in warm (cool) period.

Kategorie [mm/den]	N	Teplá část roku			Studená část roku			
		[%]	μ [mm]	σ [mm]	N	[%]	μ [mm]	σ [mm]
0 – 5	125800	83.51	0.65	1.17	147082	92.18	0.50	1.02
5 – 10	11888	7.89	7.03	1.42	8610	5.40	6.88	1.39
10 – 30	10618	7.05	16.53	5.29	3633	2.28	14.71	4.51
30 – 50	1738	1.15	37.18	5.32	228	0.14	35.97	4.85
> 50	603	0.40	76.57	30.82	11	0.01	55.17	4.01
Celkem	150647	100.00	2.99	7.83	159564	100.00	1.22	3.14

Tab. 2 Totéž jako v tabulce 1 pro verifikační data z roku 1998. Maximální denní úhrn v teplé části roku je 203.6 mm, ve studené části roku 86.4mm.

Table 2. The same as in Table 1 but for the verification data from 1998. Maximum daily amount of 203.6 mm (86.4mm) was reported in warm (cool) period.

Kategorie [mm/den]	N	Teplá část roku			Studená část roku			
		[%]	μ [mm]	σ [mm]	N	[%]	μ [mm]	σ [mm]
0 – 5	89614	84.09	0.62	1.17	93694	90.43	0.63	1.13
5 – 10	8661	8.13	7.02	1.41	6447	6.22	6.86	1.37
10 – 30	7293	6.84	16.34	5.20	3289	3.17	15.21	4.61
30 – 50	868	0.81	36.97	5.22	160	0.15	36.04	5.13
> 50	139	0.13	64.88	23.18	22	0.02	62.72	10.81
Celkem	106575	100.00	2.60	6.05	103612	100.00	1.55	3.62

2. VSTUPNÍ DATA

V práci jsou užity hodnoty denních srážkových úhrnů měřených 653 srážkoměrnými stanicemi z území České republiky a odpovídající srážkové úhrny odvozené z hodnot maximální odrazivosti měřené radarem Skalky [11, 21]. Všechna vstupní data jsou z období tří let 1996, 1997 a 1998. Pro převod radarové odrazivosti na intenzitu deště a následnou integraci od 06 UTC do 06 UTC následujícího dne byl použit standardní postup užívaný v ČHMÚ (viz např. [14, 21]). V práci uvažujeme pouze ty termíny, v nichž je k dispozici alespoň 90 % radarových měření. Radarová data jsou k dispozici v kartézské síti 256 x 256 pixelů o rozměrech 2 x 2 km, přičemž střed radarové oblasti je totožný s polohou radaru. Každé pozemní srážkoměrné stanici je přiřazen pixel, který pokrývá polohu stanice. V následujícím textu je pojem radarové srážky používán pro hodnotu denního úhrnu srážek odvozenou přímo z radarové odrazivosti v daném pixelu.

V datech z let 1996–98 bylo v dosahu radaru Skalky, tj. do vzdálenosti 256 km, celkem 714 srážkoměrných stanic měřících denní úhrny. Srážky některých stanic však byly velmi slabě korelované s radarovými daty. Protože hledáme funkční závislost mezi srážkami na stanicích a radarovými daty, nemá smysl tato data uvažovat. Jako kritérium pro vyřazení stanice je použita hodnota koeficientu determinace mezi srážkovými úhrny na stanici a radarovými srážkami, která byla počítána odděleně pro chladnou (od 1. 1. do 31. 3. a od 1. 10. do 31. 12.) nebo teplou (od 1. 4. do 30. 9.) polovinu roku v letech 1996 a 1997. Stanice, pro které byl alespoň v jednom období koeficient determinace menší než 0.1, byly z dalších testů vyřazeny. Ukázalo se, že u velké většiny případů se podkritická hodnota

koeficientu determinace vyskytla současně v obou obdobích. Stanice vyřazené i zahrnuté do výpočtů jsou zobrazeny na obr. 1. V naprosté většině případů leží vyřazené stanice buď v bezprostředním okolí radaru, nebo naopak na hranici jeho dosahu.

Všechny výpočty byly provedeny odděleně pro teplou a studenou polovinu roku. Důvodem pro toto rozdělení je rozdílný charakter srážek v létě a v zimě a odlišné vlastnosti chyb měření v těchto obdobích. Data byla dále rozdělena podle roku na učicí soubor (roky 1996 a 1997) a verifikační soubor (1998). S použitím učicího souboru byly odvozovány jednotlivé statistické modely, které byly dále verifikovány na nezávislých datech z roku 1998. Přesnost jednotlivých modelů byla testována pro celý soubor hodnot úhrnů měřených na stanicích i odděleně pro následujících 5 intervalů: < 0–5), < 5–10), < 10–30), < 30–50), 50 a více. Základní charakteristiky souboru pozemních srážkových úhrnů pro teplou i studenou polovinu roku a pro učicí i verifikační soubory jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

3. STATISTICKÉ MODELY A DEFINICE PREDIKTORŮ

V této práci se studuje závislost množství srážek naměřených na pozemních stanicích (závisle proměnná, prediktand) na hodnotách radarových srážek a dalších charakteristik radarového měření (nezávisle proměnné, prediktory). Pro vyjádření této závislosti jsou použity vícerozměrné lineární regresní modely. Některé z nich užívají jako prediktor i předběžný odhad srážky vypočtený z pozemních měření v okolí pixelu. V následujících podkapitolách definujeme prediktory vycházející z radarového měření, uvedeme metodu užitou pro

Tab. 3 Popis potenciálních prediktorů uvažovaných při testech regresních modelů. Podrobnosti viz text.

Table 3. Potential predictors considered in the tests of regression models. See text for details.

číslo	popis prediktoru	rozměr
1	Denní srážkový úhrn odvozený z měření radaru v pixelu odpovídajícím poloze stanice	mm/den
2	Medián úhrnů srážek odvozených z radaru v 9 pixelech ležících ve čtverci 3 x 3, kde střední pixel odpovídá poloze stanice	mm/den
3	Průměr úhrnů srážek odvozených z radaru v 9 pixelech ležících ve čtverci 3 x 3, kde střední pixel odpovídá poloze stanice	mm/den
4	Nadmořská výška stanice	m n.m.
5	Nadmořská výška nejnižšího radarového paprsku ve vzdálenosti stanice	m n.m.
6	Vzdálenost stanice od radaru	km
7	Sinus úhlu mezi východním směrem a spojnicí radar-stanice	0
8	Maximum úhrnů srážek odvozených z radaru v pixelech na spojnici radar-stanice	mm/den
9	Medián úhrnů srážek odvozených z radaru v pixelech na spojnici radar-stanice	mm/den
10	Suma úhrnů srážek odvozených z radaru v pixelech na spojnici radar-stanice	mm/den
11	Maximální suma úhrnů srážek ze 4 po sobě následujících pixelů na spojnici radar-stanice.	mm/den
12	Logaritmus vzdálenosti stanice od radaru	log(km)
13	Druhá mocnina vzdálenosti stanice od radaru	km ²
14	Odhad srážek interpolací měření srážkoměrných stanic	mm/den

předběžný odhad srážek a stručně popíšeme porovnávané statistické modely.

3.1 Prediktory

Výčet veličin, které byly zařazeny do množiny potenciálních prediktorů pro jednotlivé regresní modely, je uveden v tab. 3. Prediktory 1 až 3 jsou odvozeny z měření radarových srážek a využívají buď hodnotu v daném pixelu, nebo shlazenou charakteristiku radarových srážek na větší oblasti (střední hodnotu, resp. medián). Prediktory 4 – 7, 12 a 13 charakterizují místo, ve kterém se odhaduje srážkový úhrn z hlediska pozice pixelu a geometrie radarového měření. Pro souřadnice stanic a pixelů z radarové oblasti byly uvažovány hodnoty odpovídající středům příslušných pixelů. Každému pixelu byla dále přiřazena průměrná nadmořská výška stanovená z hodnot orografie 1 x 1 km. Nadmořská výška stanic byla ponechána. Protože nadmořská výška nejnižšího radarového paprsku je silně závislá na vzdálenosti od radaru, jsou prediktory 5, 6, 12 a 13 silně korelované.

Prediktory 8 až 11 byly počítány z hodnot ležících na spojnici mezi radarem a stanicí. Spojnice byla pokryta diskretními body vzdálenými od sebe 2 km. Ke každému bodu na spojnici byl určen nejbližší radarový pixel, pro který byla vypočtena průměrná hodnota radarových srážek z okolních 49 pixelů (čtverec 7 x 7 pixelů). Z těchto průměrných hodnot byly stanoveny odpovídající prediktory. Při výpočtu bylo vynecháno prvních 5 bodů nejbližší k radaru, protože v této oblasti jsou radarové srážky zatíženy velkými chybami (viz vyřazené stanice při kontrole dat). Byly testovány i jiné rozměry čtverce, který byl použit při výpočtu prediktorů vztahovaných ke spojnici mezi radarem a stanicí. Byl vybrán čtverec o straně 7 pixelů, přestože zcela srovnatelné výsledky dávaly i čtverce s jinými rozměry. Smyslem zavedení prediktorů 8 až 11 bylo zahrnout do statistické úvahy i možný vliv útlumu radarového paprsku při průchodu významnými srážkami.

Veličiny popsané v tab. 3 lze vypočítat ve všech pixelech radarové oblasti s výjimkou pixelů, které leží blízko okraje nebo naopak blízko pozice radaru. Postup užitý při stanovení prediktoru 14 je popsán v následující části 3.2. Množina 14 veličin tvoří základní soubor potenciálních prediktorů, na který se aplikuje výběrový algoritmus popsaný v části 3.3.

3.2 Odhad srážek s využitím srážkoměrných stanic

Pro odhad srážek v daném pixelu interpolací, resp. extra-

polací dat ze staniční sítě, byly testovány tři metody: metoda optimální interpolace, přičemž jako první odhad bylo použito průměrné pole srážek vypočtené z dostupných dat, zjednodušená verze metody použité v práci [20] a jedнокroková korekční metoda (vážený průměr). Nakonec byla vybrána poslední metoda, která z hlediska střední kvadratické chyby dávala nejlepší výsledky a navíc byla zřetelně nejrychlejší.

Metodou váženého průměru se srážka S v bodě (x, y, z) vypočte podle vztahu

$$S(x, y, z) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i S_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (1)$$

kde S_i je srážka na stanici o souřadnicích (x_i, y_i, z_i) , n je počet stanic v okolí bodu (x, y, z) a w_i je váha daná vztahem

$$w_i = \exp\left(\alpha\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + \beta|z-z_i|\right) \quad (2)$$

Exponenciální váha s koeficienty a a b definovaná vztahem (2) dávala lepší výsledky než klasická Gaussova funkce. Hodnoty koeficientů byly určeny ze souboru dat z let 1996 a 1997 pomocí série numerických experimentů a testy přesností byly provedeny na nezávislých datech způsobem popsaným v kapitole 4. Pro další výpočty byly vybrány hodnoty $a = 0.075$ a $b = 0.05$ i když provedené testy ukázaly, že existuje větší počet možných dvojic koeficientů a a b , které dávají srovnatelné výsledky. Pomocí tohoto postupu lze provést odhad srážek v libovolném pixelu radarového pole na základě definovaného souboru pozemních stanic.

3.3 Regresní metody

Závislost mezi prediktandem a prediktory byla studována pomocí statistických modelů několika typů, které využívají vícerozměrnou lineární regresi a navzájem se liší způsobem aplikace modelu, resp. složením souboru potenciálních prediktorů. Výběr ze souboru potenciálních prediktorů byl prováděn standardním algoritmem postupného výběru tzv. „forward selection“. Tento algoritmus vybere v prvním kroku prediktor nejlépe korelovaný s prediktandem. V následujících krocích se vybírá vždy ten prediktor, který je nejlépe korelovan s reziduem, tj. s rozdílem mezi prediktandem a hodnota-

Tab. 4 Statistické modely použité v testech odhadu denních úhrnů srážek.

Table 4. Statistical models used in the tests aimed at the estimation of daily precipitation.

Označení	Popis metody
STA	Interpolovaná hodnota srážek ze srážkoměrných stanic.
RADX	Srážky přepočtené z maximální radarové odrazivosti. Rutinní produkt vytvářený v ČHMÚ.
REG1	Regresní model s množinou potenciálních prediktorů 1–13.
BULK	Regresní model podle [11, 13]
KREGRAD	Klasifikovaná regrese. Volba regresní rovnice podle odhadu radarových srážek RADX. Potenciální prediktory 1–14.
KREG	Klasifikovaná regrese. Výběr regresní rovnice podle odhadu pozemních srážek STA. Potenciální prediktory 1–13.
KREGS	Klasifikovaná regrese. Výběr regrese podle odhadu pozemních srážek STA. Potenciální prediktory 1–14.
KREGK	Klasifikovaná regrese. Výběr regrese podle odhadu pozemních srážek STA. Potenciální prediktory 1–6, 12–13.
KREGKS	Klasifikovaná regrese. Výběr regrese podle odhadu pozemních srážek STA. Potenciální prediktory 1–6, 12–14.

mi regresního polynomu sestaveného pomocí dosud vybraných prediktorů. Před zahrnutím nového prediktoru se testuje statistická významnost nenulovosti regresních koeficientů. Pokud existuje koeficient, který není statisticky významně odlišný od 0, je výběr prediktorů ukončen. Výběr lze také ukončit, pokud počet vybraných prediktorů dosáhl předem zadané hodnoty.

Původním příspěvkem do problematiky využití radarových dat pro odhad plošných srážek je využití tzv. klasifikované regrese (někdy se používá termín podmíněná regrese). Data jsou rozdělena na třídy podle hodnot určité veličiny a regresní model je odvozen nezávisle pro každou uvažovanou třídu. Srážkové úhrny na stanicích se vyznačují značnou variabilitou, kterou regresní model s omezeným počtem prediktorů není schopen dobře popsat. Zvyšování počtu prediktorů vede často k nestabilitě modelu projevující se při aplikaci modelu na nezávislá data. Klasifikovaná regrese má ve srovnání s jedním regresním modelem více volných parametrů, umožňuje proto přesněji popsat danou závislost a zároveň je méně náchylná k nestabilitě. Výhodou klasifikované regrese je i možnost popsat nelineární závislost lépe, než by to umožnil lineární regresní model se stejným počtem parametrů. Ze zkušenosti je známo, že systematické chyby radaru závisí na množství srážek. Proto byl za základní kritérium pro klasifikaci dat zvolen odhad srážky v daném místě (prediktor 14), odvozený z měření pozemních stanic (část 3.2). Verifikace regresních modelů se provádí v pixelech, které odpovídají poloze stanic. Odhad srážek interpolací z pozemních měření, který se užívá při klasifikaci (i jako prediktor č. 14), proto stanovíme vždy tak, že hodnotu srážek zjištěnou na příslušné stanici ze souboru vyloučíme.

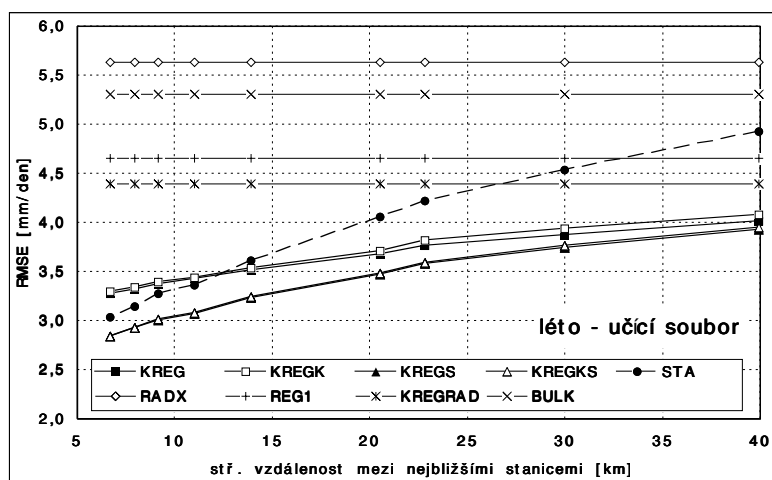
Užití statistické modely jsou uvedeny v tab. 4. Pro srovnání s výsledky klasifikované regrese byly do testů zahrnuty také hodnoty interpolovaných srážek z pozemních stanic (STA), radarové srážky přímo přepočtené z radarové odrazivosti (RADX), výsledky jednoduché neklasifikované regrese (REG1) a výsledky aplikace regresní rovnice (BULK) podle [14], resp. [17]. Ostatní modely užívají klasifikovanou regresi a liší se hlavně složením množiny potenciálních prediktorů, tzn. využitím prediktorů ze spojnice radar-stanice (prediktory 8–11) a uvažováním odhadu srážek z pozemního měření jako prediktor č. 14. Druhým aspektem je způsob klasifikace. Model KREGRAD nevyužívá staniční měře-

ní vůbec a klasifikace se provádí na základě hodnot RADX. Modely KREG a KREGK potřebují k provedení klasifikace srážkoměrná data, hodnotu odhadu srážek však jako potenciální prediktor nepoužívají. Obdobně modely KREGS a KREGKS používají srážkoměrná data ke klasifikaci i jako prediktor (č. 14).

Výstup všech modelů byl upraven tak, že výsledná hodnota úhrnu byla položena rovná nule, pokud (a) byla záporná, (b) přímý přepočet (RADX) dával nulový úhrn. Tento problém je možné řešit i ve dvou krocích, kdy nejprve odhadneme, zda v daném místě je nenulová srážka a potom použijeme statistické modely pouze v místech se srážkou [19]. Kromě modelů zahrnutých do tab. 4 byl proto testován i dvoukrokový postup a k identifikaci míst se srážkami bylo testováno několik metod (lineární diskriminační analýza, logistická regrese a lineární regresní model). Úspěšnost těchto metod identifikace byla srovnatelná, okolo 85 % v teplé polovině roku. Celkově však dvoukrokový postup nepřinesl žádné zlepšení, a proto není dále diskutován.

4. TESTOVÁNÍ STATISTICKÝCH MODELŮ V ZÁVISLOSTI NA HUSTOTĚ POZEMNÍCH MĚŘENÍ

Jedním z cílů této studie je porovnat přesnost jednotlivých statistických modelů v závislosti na počtu, resp. plošné hustotě srážkoměrných stanic, jejichž měření jsou využita při výpočtu předběžného odhadu v daném pixelu. S použitím



Obr. 2 Hodnoty RMSE v závislosti na průměrné minimální vzdálenosti mezi srážkoměrnými stanicemi (učicí data z teplé poloviny roků 1996, 1997).

Fig. 2. RMSE values in dependence on the mean minimum distance between gauges (developmental data set, warm periods of 1996, 1997).

opakovaných náhodných výběrů stanic o zadaném rozsahu je možné získat informace o přesnosti postupu v závislosti na počtu vybraných stanic a nikoliv na jejich konkrétním výběru.

Při každém výběru se postupovalo následujícím způsobem. Ze souboru všech 653 stanic byl náhodně vybrán předem zadaný počet stanic. Aby výběr byl aspoň přibližně rovnoměrně plošně rozdělen, byla celá oblast rozdělena na čtyři kvadranty a z každého z nich se náhodným způsobem vybíral stejný počet stanic. Pokud počet vybraných stanic nebyl dělitelný čtyřmi, lišily se výběry pro různé kvadranty maximálně o jednu stanic. Hodnoty srážek z vybraných stanic byly použity k interpolaci srážkových úhrnů do míst všech 653 stanic tak, že při interpolaci do stanice z daného výběru se hodnota na této stanici neuvažovala. Tím byly zachovány analogické podmínky pro všechny stanice, a pro každý termín byl proto výpočet odhadu proveden ve všech místech, kde byla k dispozici data. Pro vybraný soubor stanic byly sestaveny odpovídající statistické modely a stanovena jeho přesnost.

Výpočty byly provedeny pro výběry o rozsahu 30 (39.94), 50 (29.97), 80 (22.85), 100 (20.51), 200 (13.89), 300 (11.01), 400 (9.13), 500 (7.94) a 653 (6.70) stanic, přičemž v závorce je vždy uvedena hodnota střední vzdálenosti mezi nejbližšími stanicemi. Byla stanovena jako průměr přes všechny výběry daného rozsahu a je tedy funkcí pouze počtu vybraných stanic. Náhodný výběr daného rozsahu a celý následný postup byl opakován 20krát pro výběr 30 a 50 stanic, v ostatních případech 15krát. Průměrné hodnoty charakteristik jednotlivých modelů, které byly vypočteny pro jednotlivé počty stanic, lze považovat za závislé pouze na počtu vybraných stanic a tedy i na průměrné vzdálenosti mezi nimi.

Přesnost jednotlivých statistických modelů byla popsána pomocí střední kvadratické chyby RMSE, absolutní chyby AER a systematické chyby SER stanovených pomocí vztahů:

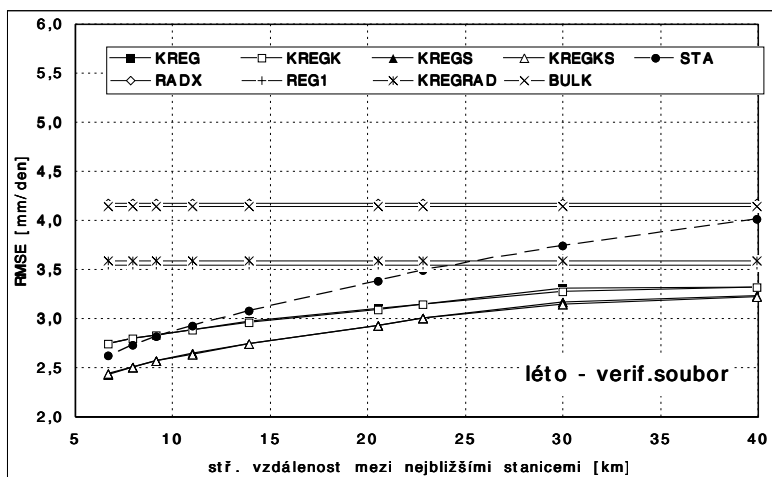
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - s_i)^2}, \quad (3)$$

$$AER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_i - s_i|, \quad (4)$$

$$SER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - s_i), \quad (5)$$

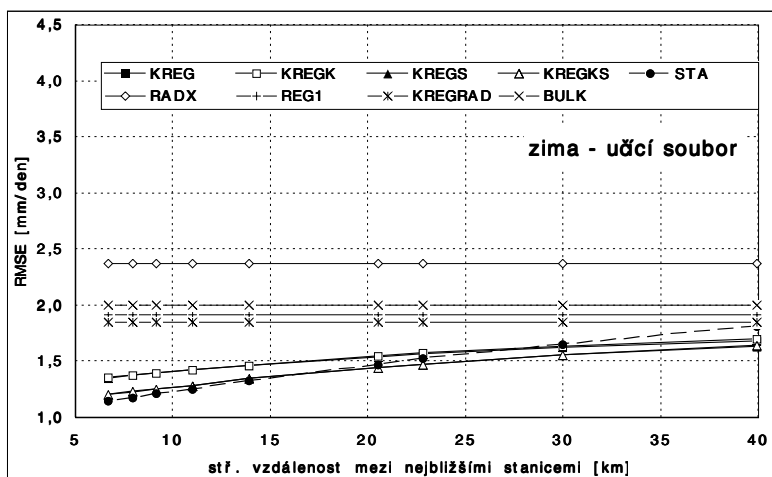
kde a_i je výsledek modelu, s_i je skutečnost a n je počet dat. Protože charakter RMSE a AER byl velmi podobný, jsou v následujícím textu analyzovány pouze výsledné hodnoty RMSE a SER.

Hodnoty RMSE jsou pro jednotlivé statis-



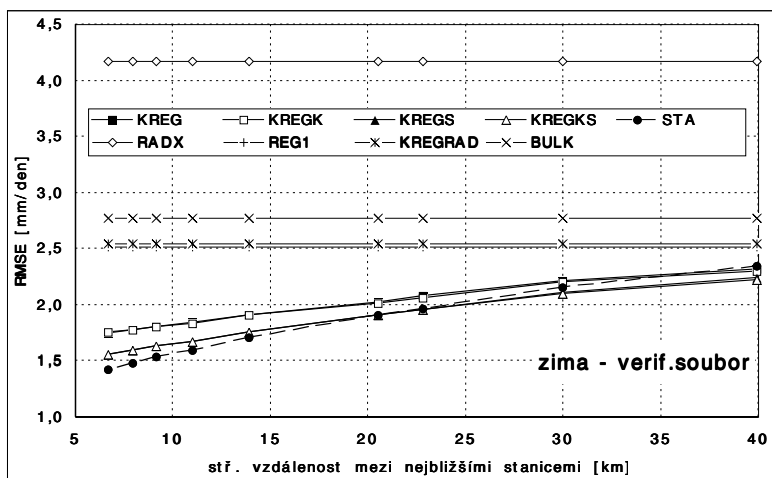
Obr. 3 Hodnoty RMSE v závislosti na průměrné minimální vzdálenosti mezi srážkoměrnými stanicemi (verifikační data z teplé poloviny roku 1998).

Fig. 3. RMSE values in dependence on the mean minimum distance between gauges (verification data set, warm period of 1998).



Obr. 4 Hodnoty RMSE v závislosti na průměrné minimální vzdálenosti mezi srážkoměrnými stanicemi (verifikační data z chladné poloviny roků 1996, 1997).

Fig. 4. RMSE values in dependence on the mean minimum distance between gauges (developmental data set, cool periods of 1996, 1997).



Obr. 5 Hodnoty RMSE v závislosti na průměrné minimální vzdálenosti mezi srážkoměrnými stanicemi (verifikační data z chladné poloviny roku 1998).

Fig. 5. RMSE values in dependence on the mean minimum distance between gauges (verification data set, cool period of 1998).

tické modely znázorněny na obrázcích 2 až 5 pro učící i verifikační soubory a pro teplou i studenou část roku. Závislost na počtu staničních měření užitých pro klasifikaci je vyjádřena průměrnou minimální vzdáleností mezi stanicemi. Jednotlivým bodům vyznačeným v grafech odpovídá počet stanic o hodnotách 653, 500, 400, 300, 200, 100, 80, 50 a 30. Z obrázků je patrné, že základní rysy křivek pro jednotlivé modely STA, KREG, KREGK, KREGS a KREGKS jsou shodné. Pro malý počet stanic jsou hodnoty RMSE pro modely KREG, KREGK, KREGS a KREGKS podobné a zřetelně nižší než pro samotnou interpolaci ze stanic STA. S narůstajícím počtem stanic chyby RMSE klesají, přičemž dvě dvojice modelů KREG, KREGK a KREGS, KREGKS dávají velice podobné výsledky. Chyba interpolace STA pro 30 stanic je zřetelně vyšší než pro ostatní metody, avšak pokles chyby s růstem počtu stanic je strmější. Tyto základní rysy jsou zachovány i u obdobných závislostí RMSE určených individuálně pro různé intervaly hodnot skutečných srážek. Rozdíl v hodnotách RMSE mezi dvojicí modelů KREG, KREGK a dvojicí KREGS, KREGKS narůstá s růstem hustoty stanic.

Z obr. 2 až 5 jsou dále patrné rozdíly mezi výsledky pro teplejší a studenější část roku. V zimě jsou hodnoty srážek zřetelně nižší (viz. tab. 1 a tab. 2) a tomu odpovídá i vyšší přesnost modelů. Základní rozdíl mezi teplejší a studenější částí roku je v tom, že v zimním období prostá interpolace srážek na stanicích STA dává od určité hustoty stanic o něco nižší hodnoty RMSE než kombinace radarových a srážkoměrných dat v modelech KREGS a KREGKS. To platí i pro učící data a je to způsobeno chybnou klasifikací při použití klasifikované regrese. Metoda STA dává lepší výsledky pouze pro skutečné srážky menší než 10 mm. Pro větší srážky i pro velkou hustotu stanic jsou metody KREGS a KREGKS minimálně srovnatelné se STA. Jako příklad je na obr. 6 zobrazena závislost RMSE pro srážky z intervalu od 30 do 50 mm pro verifikační soubor.

Zajímavý důsledek vyplývá pro teplejší polovinu roku z obr. 2 a 3. Metody KREG a KREGK, které využívají metodu STA pouze k výběru regresního modelu, dávají pro menší počet použitých stanic (do 200) lepší výsledky než interpolace, tj. metoda STA. Modely KREGS a KREGKS, které spojují radarovou informaci s interpolací pozemních měřených dat, jsou dokonce přesnější než STA pro všechny počty stanic. Vzhledem k tomu, že přesnost modelů je srovnávána s měřenými hodnotami, podporuje tato skutečnost využívání radarových dat i v případě velmi husté srážkoměrné sítě. Podobnost mezi výsledky na učících souborech a na nezávis-

Tab. 5 Závislost systematické chyby SER na hustotě stanic a intervalu srážek pro metody KREGS, STA a RADX. Hodnoty SER se vztahují k verifikačnímu souboru dat z teplé poloviny roku 1998. Sloupec STANICE udává průměrnou vzdálenost nejbližších stanic pro daný vybraný počet stanic uvedený v závorce. Hodnoty SER byly stanoveny pro celý rozsah měřených hodnot úhrnů (sloupec 0–999) i pro jednotlivé kategorie srážek (ostatní sloupce, hraniční hodnoty jsou v mm/den) na základě opakovaných náhodných výběrů stanic. Počet vybíraných stanic je uveden ve sloupci STANICE.

Table 5. The dependence of the bias SER on the station density and precipitation category for the techniques KREGS, STA, and RADX. SER values relate to the verification set from 1998. The column STANICE gives the mean distance between the closest gauges and corresponds to the number of gauges written in parentheses. The SER's were determined for all ground precipitation values (column 0–999) as well as for precipitation categories (the other columns with limits in mm/day). They follow from the repeated random selection of gauges. The number of gauges being selected is given in the column STANICE.

METODA	STANICE	0-999	0-5	5-10	10-30	30-50	50-999
KREGS	39.94 (30)	-0.06	0.39	-0.65	-3.25	-10.09	-28.12
	29.97 (50)	-0.06	0.36	-0.59	-3.04	-9.91	-28.28
	22.85 (80)	-0.03	0.34	-0.47	-2.56	-9.38	-27.89
	20.51 (100)	-0.05	0.33	-0.49	-2.54	-9.24	-27.78
	13.89 (200)	-0.05	0.28	-0.46	-2.34	-8.23	-25.40
	11.01 (300)	-0.04	0.26	-0.42	-2.13	-7.41	-23.01
	9.13 (400)	-0.04	0.25	-0.42	-1.98	-6.71	-22.63
	7.94 (500)	-0.04	0.23	-0.41	-1.88	-6.33	-21.90
6.70 (653)	-0.04	0.22	-0.40	-1.78	-5.76	-19.94	
STA	39.94 (30)	-0.06	0.55	-0.86	-4.08	-15.41	-43.52
	29.97 (50)	-0.04	0.50	-0.76	-3.60	-13.48	-39.76
	22.85 (80)	-0.04	0.45	-0.68	-3.18	-12.28	-37.48
	20.51 (100)	-0.04	0.42	-0.65	-2.99	-11.23	-35.75
	13.89 (200)	-0.03	0.36	-0.51	-2.55	-9.71	-31.72
	11.01 (300)	-0.02	0.32	-0.44	-2.31	-8.72	-29.13
	9.13 (400)	-0.02	0.30	-0.40	-2.08	-7.91	-28.37
	7.94 (500)	-0.01	0.29	-0.37	-1.91	-7.36	-26.83
6.70 (653)	-0.01	0.27	-0.33	-1.78	-6.82	-25.02	
RADX	-	-0.96	0.08	-2.90	-8.64	-20.52	-38.99

Tab. 6 Totéž jako tabulka 5 pro chladnou polovinu roku 1998.

Table 6. The same as in Table 5 but for the cool part of 1998.

METODA	STANICE	0-999	0-5	5-10	10-30	30-50	50-999
KREGS	39.94 (30)	-0.15	0.16	-1.80	-4.83	-14.36	-38.96
	29.97 (50)	-0.13	0.14	-1.56	-4.37	-13.89	-37.96
	22.85 (80)	-0.11	0.12	-1.31	-3.79	-11.52	-31.41
	20.51 (100)	-0.11	0.11	-1.20	-3.64	-11.32	-31.74
	13.89 (200)	-0.10	0.08	-1.02	-3.03	-9.29	-25.65
	11.01 (300)	-0.10	0.06	-0.92	-2.75	-8.55	-24.21
	9.13 (400)	-0.11	0.05	-0.89	-2.59	-8.37	-22.47
	7.94 (500)	-0.11	0.04	-0.89	-2.44	-8.01	-21.86
6.70 (653)	-0.11	0.03	-0.87	-2.24	-7.49	-20.43	
STA	39.94 (30)	-0.09	0.25	-1.79	-5.43	-17.97	-41.34
	29.97 (50)	-0.07	0.23	-1.54	-4.79	-16.34	-39.37
	22.85 (80)	-0.05	0.20	-1.32	-4.07	-13.75	-32.92
	20.51 (100)	-0.04	0.19	-1.20	-3.86	-13.33	-32.96
	13.89 (200)	-0.02	0.17	-0.92	-3.03	-10.84	-27.83
	11.01 (300)	-0.01	0.15	-0.79	-2.68	-9.95	-25.84
	9.13 (400)	-0.01	0.15	-0.72	-2.42	-9.05	-23.00
	7.94 (500)	0.00	0.14	-0.68	-2.25	-8.42	-22.32
6.70 (653)	0.00	0.13	-0.61	-2.03	-7.78	-20.12	
RADX	-	-0.82	-0.18	-4.59	-10.69	-26.75	-59.22

Tab. 7 Relativní četnost [%] výběru prediktorů č.1-14 (viz. tab.1) pro modely KREGS a KREGKS v závislosti na apriorním odhadu srážky. Četnost byla určena celkově ze všech náhodných výběrů o rozsahu 80 stanic. Sloupec N_p udává průměrný počet vybraných prediktorů při maximálním povoleném počtu 5 prediktorů. Výsledky se vztahují k teplé polovině roků 1996-7.

Table 7. Relative frequency [%] of predictors No.1-14 (see Table 1) for the models KREGS and KREGKS in dependence on the first guess of precipitation. The frequency was determined for all random selections of the extend of 80 gauges. The column N_p gives the mean number of predictors in the selections with maximum 5 predictors allowed. The results correspond to the warm periods of 1996-97.

METODA	ODHAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	N_p
KREGS	0-2	0.0	25.9	0.0	10.3	22.4	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	3.4	25.9	3.9
	2-5	0.0	20.3	0.0	4.1	20.3	0.0	16.2	0.0	2.7	0.0	0.0	16.2	0.0	20.2	4.9
	5-10	0.0	20.0	0.0	17.3	20.0	0.0	12.0	0.0	8.0	0.1	0.0	1.3	1.3	20.0	5.0
	10-30	1.4	19.2	0.0	0.0	20.5	0.0	13.7	0.0	4.1	0.0	0.0	20.5	0.0	20.6	4.9
	30-50	0.0	20.0	0.0	18.7	0.0	0.0	12.0	1.3	10.7	1.3	0.0	18.7	1.3	16.0	5.0
	>50	19.4	0.0	3.0	13.4	22.4	1.5	1.5	4.5	1.5	3.0	0.0	7.5	1.5	20.8	4.5
KREGKS	0-2	0.0	25.9	0.0	10.3	22.4	5.2	-	-	-	-	-	6.9	3.4	25.9	3.9
	2-5	0.0	25.0	0.0	5.0	25.0	0.0	-	-	-	-	-	20.0	0.0	25.0	4.0
	5-10	0.0	25.0	0.0	21.7	25.0	0.0	-	-	-	-	-	1.7	1.7	24.9	4.0
	10-30	1.7	23.3	0.0	0.0	25.0	0.0	-	-	-	-	-	25.0	0.0	25.0	4.0
	30-50	0.0	21.1	0.0	0.0	21.1	2.8	-	-	-	-	-	21.1	12.7	21.2	4.7
	>50	20.6	0.0	3.2	14.3	23.8	3.2	-	-	-	-	-	9.5	3.2	22.2	4.2

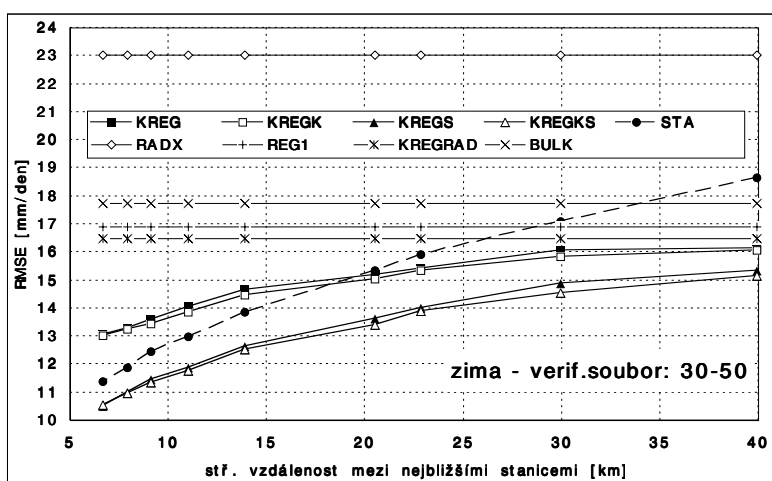
lých verifikačních datech potvrzuje stabilitu vyvinutých postupů.

Hodnoty RMSE jsou u metod RADX, REG1, KREGRAD a BULK, do nichž nevstupují informace z pozemních měření, ve většině případů výrazně vyšší než u ostatních metod. Zřetelně nejhorší výsledky dává RADX. Výjimkou je RMSE pro velmi malé srážky od 0 do 5 mm, kdy RADX dává velmi dobré výsledky především v letním období. Je to důsledek skutečnosti, že pro malé srážky i radar dává malé hodnoty. Výsledky metod REG1, KREGRAD a BULK jsou zhruba srovnatelné a závisí na verifikovaném souboru.

Velikost systematické chyby SER u všech studovaných metod závisí na velikosti skutečné srážky. Charakter SER u modelů KREG, KREGK, KREGS, KREGKS a STA je velmi podobný pro teplou i chladnou polovinu roku a pro učicí i verifikační soubory. Omezíme se proto pouze na porovnání metod KREGKS a STA s referenční metodou RADX na verifikačním souboru dat z roku 1998 (viz tab. 5 a tab. 6). Celkově KREGKS a STA lehce podhodnocují srážky, což pro metodu KREGKS platí i na učicím souboru. Je to způsobeno opravou výstupů regresních modelů podle hodnot RADX (viz výše). Pro hodnoty skutečných srážek větších než 5 mm KREGKS a STA srážky podhodnocují, přičemž s růstem srážky výrazně narůstá i velikost podhodnocení. Naopak pro malé hodnoty srážek do 5 mm KREGKS a STA srážky lehce nadhodnocují. Pro metodu STA je toto chování důsledkem použité metody interpolace, která počítá vážený průměr z okolních dat a váhy jsou vždy mezi 0 a 1. Statistický model KREGKS využívá výstupů STA pro výběr příslušné regrese. I když předběžné odhady srážek jsou podhodnoceny, regresní modely jsou schopny částečně korigovat systematické chyby a tím i zlepšit hodnoty RMSE. V teplé polovině roku dochází k výraznému snížení hodnot SER pro velké srážky a při menším počtu stanic (tab. 5). V zimním období není rozdíl mezi metodami KREGKS a STA výrazný. V obou obdobích

jsou chyby KREGKS výrazně příznivější než chyby RADX.

Pro výběr prediktorů byla zvolena hladina významnosti 0.05 (viz podkapitola 3.3) a na základě předběžných testů byl maximální povolený počet prediktorů položen 5. Ukázalo se, že výběr prediktorů závisí na podmínce, pro kterou byl regresní model konstruován. Struktura výběru prediktorů je ukázána v tab. 7 pro teplejší polovinu roku, pro 80 stanic a pro metodu KREGS a KREGKS. Je zřejmé, že zastoupení prediktorů ve výběru není v jednotlivých srážkových kategoriích stejné, je však obtížné najít ve změnách četnosti jasný trend. Nejvyšší zastoupení mají prediktory 2, 5 a 14. Přitom shodně u obou metod je v nejvyšší třídě častěji vybírán prediktor 1 na úkor prediktoru 2. Četnost výběru je zjevně odlišná u obou krajních tříd. Pomineme-li nejnižší kategorii, která zahrnuje i případy beze srážek, bude vhodné se výběru prediktorů pro vysoké odhady ještě v dalších studiích věnovat. Vyšší hodnoty průměrného počtu vybraných prediktorů N_p u metody



Obr. 6 Hodnoty RMSE v závislosti na průměrné minimální vzdálenosti mezi srážkoměrnými stanicemi (verifikační data z chladné poloviny roku 1998, třída 30–50 mm).

Fig. 6. RMSE values in dependence on the mean minimum distance between gauges (verification data set, cool period of 1998, precipitation class 30–50 mm).

KREGS dokladují, že prediktory 7 až 10, které vycházejí z hodnot na spojnicí radar – daný pixel, jsou nositeli využitelné informace. Jak ukazují obr. 2 až obr. 5, není zvýšení přesnosti metody vlivem zahrnutí těchto prediktorů podstatné. Uvážíme-li, že stanovení těchto hodnot je vždy časově náročnější, nepokládáme za nutné je při korekci srážek určených z měření radaru Skalky uvažovat.

5. ODVOZENÍ STATISTICKÉHO MODELU PRO SRÁŽKOMĚRNÉ STANICE NA ÚZEMÍ ČR V AUTOMATICKÉM PROVOZU

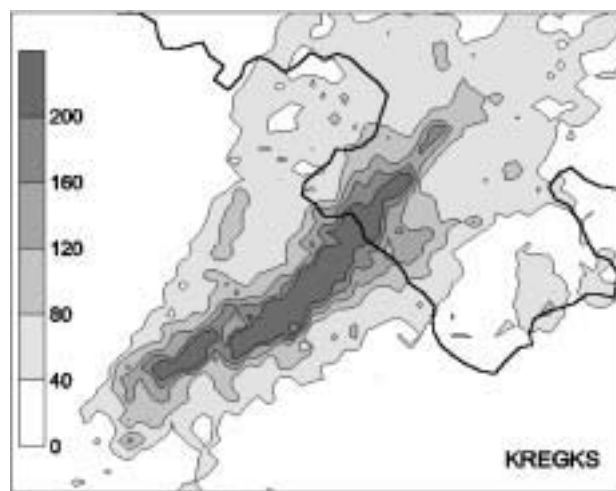
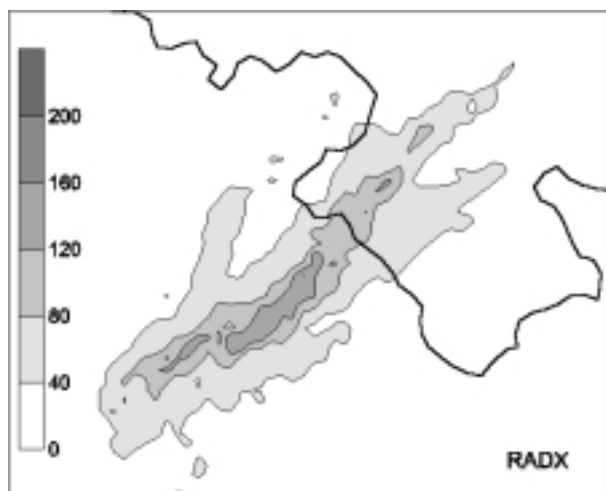
ČHMÚ provozuje v současné době některé z výše uvažovaných stanic v automatickém provozu, přičemž v dosahu

radaru Skalky se jedná o 81 stanic. Druhým cílem práce tedy bylo odvození vhodné metody pro odhad denních srážkových úhrnů pro tyto („on-line“) stanice. Byly testovány různé metody založené na klasifikované regresi a různé způsoby vytvoření předběžného odhadu srážek, které byly založeny na využití interpolace měření ze srážkoměrných stanic i bodových radarových srážek RADX (hodnota STA, maximum z hodnot STA a RADX, průměr z hodnot STA a RADX). Obdobně jako v předchozím odstavci sloužila data z roků 1996 a 1997 k odvození statistických modelů a data z roku 1998 byla použita k verifikaci. V tomto případě byly tedy parametry statistických modelů optimalizovány při konkrétním rozložení uvažovaných stanic. Výsledky byly porovnány s referenčními

Tab. 8 Souhrn výsledných hodnot RMSE a SER pro čtyři modely odhadu denních úhrnů. Při konstrukci modelů se užívají data z 81 pozemních stanic, které jsou určeny pro automatizovaný provoz.

Table 8. Summary of the resultant RMSE and SER values gained at the estimation of daily precipitation amounts by four models. To construct the models the 81 gauges designed to the on-line measurement were used.

Metoda	Interval srážek											
	0-999		0-5		5-10		10-30		30-50		50-999	
	RMSE	SER	RMSE	SER	RMSE	SER	RMSE	SER	RMSE	SER	RMSE	SER
léto, 96+97												
KREGKS	3.57	-0.03	1.48	0.34	4.00	-0.28	6.91	-2.11	14.23	-7.02	32.05	-16.99
REG1	4.69	0.06	1.89	0.55	4.69	0.43	8.00	-2.41	16.47	-10.43	49.82	-37.92
STA	4.24	0.04	1.76	0.49	4.58	-0.29	8.20	-2.29	16.03	-8.18	39.69	-24.61
RADX	5.63	-1.15	1.30	0.07	4.46	-2.66	10.56	-8.05	22.99	-20.69	61.65	-52.51
léto, 98												
KREGKS	2.96	-0.08	1.33	0.31	3.77	-0.53	6.81	-2.78	14.13	-10.03	33.18	-25.56
REG1	3.54	0.10	1.79	0.53	4.52	0.06	8.18	-3.26	16.60	-11.56	33.93	-28.14
STA	3.43	0.00	1.55	0.42	4.17	-0.46	7.68	-2.68	15.52	-11.56	43.41	-36.48
RADX	4.17	-0.96	1.20	0.08	4.51	-2.90	10.85	-8.64	23.00	-20.52	43.11	-38.99
zima, 96+97												
KREGKS	1.47	-0.08	0.90	0.06	2.94	-1.11	5.55	-3.04	13.16	-8.31	30.13	-26.71
REG1	1.91	-0.07	1.10	0.17	3.58	-1.61	7.52	-5.32	19.47	-16.75	37.81	-36.63
STA	1.51	-0.05	0.88	0.12	2.91	-1.17	5.95	-3.67	14.29	-10.65	33.82	-31.09
RADX	2.37	-0.61	0.93	-0.17	4.84	-4.15	10.74	-9.62	26.17	-24.60	46.19	-45.59
zima, 98												
KREGKS	1.98	-0.13	1.03	0.11	3.24	-1.37	7.01	-3.62	17.17	-13.27	40.86	-37.57
REG1	2.52	-0.15	1.35	0.24	3.93	-2.36	9.01	-6.08	21.57	-18.11	49.66	-48.43
STA	2.01	-0.08	1.03	0.17	3.28	-1.34	7.02	-3.88	18.17	-14.83	42.74	-39.12
RADX	3.04	-0.82	1.08	-0.18	5.20	-4.56	12.03	-10.69	28.82	-26.75	60.40	-59.22



Obr. 7 Plošné rozložení denních srážkových úhrnů z 23. 7. 1998. Úhrny nad 40 mm stanovené pomocí RADX a KREGKS (podrobnosti viz text).

Fig. 7. Area distribution of daily precipitation from 23 July 1998. The precipitation above 40mm determined by RADX and KREGKS (see the text for details).

metodami STA, REG1 a RADX a souhrn výsledných hodnot RMSE i SER je obsahem tab. 8. Jak je uvedeno výše, rozdíl v přesnosti mezi modely KREGS a KREGKS byly minimální. Dále byl proto použit model KREGKS, protože příprava prediktorů pro tento model je výrazně jednodušší.

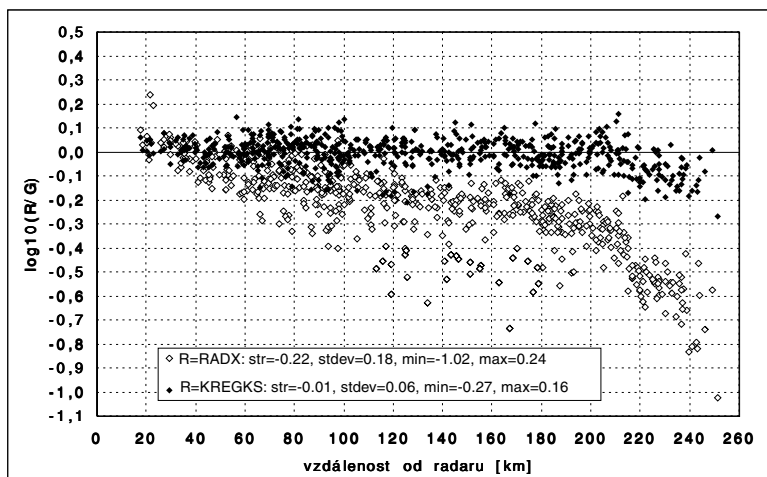
Pro předběžný odhad srážek byly v teplé i studené polovině roku použity hodnoty STA určené s parametry $a = 10$, $b = 0$. Je však třeba poznamenat, že i jiné hodnoty parametrů a způsoby výpočtu předběžného odhadu dávají srovnatelné výsledky. Z tab. 8 je zřejmé, že v teplé polovině roku metoda KREGKS výrazně zlepšuje prosté radarové výstupy RADX a také zlepšení vzhledem k metodám STA a REG1 je zřetelné. Významné je především výrazné zpřesnění odhadu velkých srážek, jejichž odhad je z praktického hlediska nejdůležitější. Pro systematické chyby SER platí totéž co v předchozí kapitole. Pro studenou polovinu roku jsou výsledky metody KREGKS jen nepatrně lepší než samotná interpolace měření STA. Výraznější rozdíl je v oblasti velkých srážek nad 30 mm, kde chyba KREGS je téměř o 10 % nižší než chyba STA jak na závislém, tak na nezávislém datovém souboru. V zimním období jsou jak radarová, tak i srážkoměrná data zatížena značnými chybami, které spolu s relativně homogenním polem denních srážkových úhrnů jsou zřejmě důvodem, proč ve srovnání s interpolací měření nemá zahrnutí radarových dat takový význam jako v letním období.

Jak zmiňujeme v úvodu tohoto článku, dvě práce publikované v časopisu Meteorologické zprávy jsou věnovány adjustaci denních úhrnů odvozených z radarového měření, které byly zaznamenány v době přívalových srážek na Rychnovsku 22.–23. 7. 1998 [15, 22]. Práce [22] testovala aplikaci algoritmu užívaného v Národní povětrnostní službě USA (viz.např. [19]) a studie [15] ukázala aplikabilitu metody neuronové sítě na adjustaci radarových srážek. Snažili jsme se proto otestovat metodu KREGKS i na datech z této srážkové epizody pokud možno srovnatelným způsobem. Pro první odhad srážek, který se užívá při výběru regresní rovnice i jako prediktor č. 14, jsme užili stejný soubor 25 stanic jako v práci [22]. Výsledky modelu KREGKS odvozeného na základě dat z 81 vybraných stanic (z let 1996–7) jsme porovnali s měřením 40 zbývajících stanic ze souboru 65 stanic. Výsledná pole denních úhrnů jsou znázorněna na obr. 7. Zajímavá je podobnost výsledku KREGKS s polem určeným zcela nezávisle metodou neuronových sítí [15]. Výsledkem této aplikace statistického modelu KREGKS byly hodnoty $RMSE = 13.1\text{mm/den}$ a $SER = 0.35\text{mm/den}$ stanovené pro 40 nezávislých stanic, což je závěr velmi přijatelný.

Poslední experiment, který dokumentuje kvalitu výsledného modelu KREGKS, spočívá ve stanovení faktoru

$$X = \log_{10}AF = \log_{10} (R / G), \quad (6)$$

kde G označuje sumu srážek na stanici za dané období a R obdobně sumu srážek odvozených z radaru, resp. z metody KREGKS. Závislost hodnoty X na vzdálenosti od radaru byla sledována v [14]. V našem případě jsme pro výpočet užili nezávislá data z roku 1998 a hodnoty X pro každou stanici určili z poměru sum odpovídajících denních úhrnů. Kromě fakto-



Obr. 8 Logaritmický faktor navýšení v závislosti na vzdálenosti stanice od radaru pro verifikační data z teplé poloviny roku 1998. G je suma srážek na stanici a R je suma srážek stanovených pomocí RADX a KREGKS (verze pro 81 automatických stanic). V legendě jsou uvedeny střední hodnota (*str*), střední kvadratická odchylka (*stdev*), minimum (*min*) a maximum (*max*).

Fig. 8. Logarithmic enhancement factor $\log_{10}(R/G)$ in dependence on the distance from radar position (verification data set, warm period of 1998). G is the sum of precipitation reported by the gauge, R is the corresponding sum determined by RADX and KREGKS (version established for 81 on-line gauges). There are the mean value (*str*), standard deviation (*stdev*), minimum (*min*), and maximum (*max*) given in the legenda.

ru X (KREGKS) určených jako poměr pozemních srážek a srážek adjustovaných metodou KREGKS jsme stanovili i analogické hodnoty X (RADX). Výsledné závislosti hodnot $\log_{10}(AF)$ v závislosti na vzdálenosti od radaru jsou znázorněny na obr. 8, kde je zcela zřejmá redukce závislosti adjustovaných srážek na vzdálenosti.

6. ZÁVĚR

Článek shrnuje výsledky testování několika statistických modelů užitých k vyjádření vztahu mezi denními srážkovými úhrny měřeními na srážkoměrných stanicích a srážkami odvozenými z radarových měření. Těžištěm práce je aplikace statistických modelů, které využívají princip klasifikované regrese. Při tomto postupu jsou vstupní data rozdělena na třídy podle předběžného odhadu prediktandu a pro každou třídu je odvozen nezávislý regresní model. Výsledky potvrdily, že statistické modely tohoto typu výrazně zlepšují denní srážkové úhrny ve srovnání s přímo vypočtenými radarovými srážkami. Práce prokázala, že klasifikovaná regrese je vhodný statistický model pro vyjádření studovaného vztahu.

Byla studována i závislost mezi přesností statistických modelů a hustotou pozemních měření, která má vliv především na přesnost předběžného odhadu. V teplé polovině roku dával statistický model využívající klasifikovanou regresi a spojující srážkoměrná měření a radarová data nejnižší hodnoty střední kvadratické chyby bez ohledu na počet použitých stanic. Relativně největšího zlepšení bylo dosaženo pro velké srážkové úhrny. Proto lze očekávat, že aplikace této metody může zlepšit výsledky hydrologických modelů v případech velkých srážek. V zimní polovině roku model dával obdobné výsledky jako prostá interpolace srážkoměrných měření. Důvodem může být větší nepřesnost v určení srážkového úhrnu jak přepočtem z maximální radarové odrazivosti, tak při měření na srážkoměrných stanicích. Výraznější rozdíl je v oblasti velkých srážek nad 30 mm, kde hodnoty RMSE i SER jsou pro KREGKS téměř o 10 % nižší než chyba inter-

polace. Proto lze i v zimě očekávat, že aplikace této metody může přinést zlepšení výsledků použitelných v hydrologických modelech. Uvedené závěry platí i pro verzi modelu KREGKS, který byl optimalizován na měření denních úhrnů z 81 automatizovaných srážkoměrných stanic. Tento model bude ve spolupráci s pracovníky ČHMÚ v roce 2001 dále testován poloprovozně.

Závěrem je nutné zdůraznit, že vhodnost klasifikované regrese pro adjustaci radarových srážek a preference tohoto postupu před řadou dalších metod zmíněných v textu tohoto článku se vztahují k odhadu denních srážkových úhrnů. Plošné rozložení denních srážkových úhrnů je jistě více shladené než u polí srážek s kratší dobou akumulace. Pro posouzení kvality adjustace radarových srážek s kratší dobou akumulace je teprve nutné provést odpovídající testy. V případě denních úhrnů lze měření z husté staniční sítě ČHMÚ využít pro odvození i nezávislé testování dostatečně stabilního regresního modelu. Výsledky získané pro model KREGKS s využitím pozemních stanic v automatizovaném provozu i testy s různým počtem stanic ukazují nadějnost tohoto přístupu i pro kratší doby akumulace srážek. Další potenciál pro zlepšení kvantitativního odhadu srážek na základě radarových měření je možné hledat především ve využití vertikálního profilu radarové odrazivosti a v selektivním přístupu k posuzovaným srážkám, zejména rozlišením na konvekční a nekonvekční srážkové události. Zcela závěrem je nutné poznamenat, že zkušenosti z testů modelu KREGKS lze dobře využít i při odvození obdobného modelu pro nový radar BRDY.

Poděkování: Výsledky uvedené v článku byly získány s podporou grantů GAČR 205/00/1451, 205/01/1066 a projektu COST717. Práce však navazuje na aktivity, které začaly již v rámci projektu RADHYD. Autoři proto pokládají za milou povinnost poděkovat za dobrou spolupráci všem účastníkům projektu, přičemž dík patří zejména vedoucímu projektu Dr. J. Jossovi ze švýcarské meteorologické služby. Na závěr podtrhujeme, že uvedené výsledky bylo možné získat pouze díky podpoře ČHMÚ. Dík patří zejména pracovníkům z radarového pracoviště Praha-Libuš Janu Kráčmarovi a Petrovi Novákovi, kteří poskytli technickou i konzultační pomoc při zpracování radarových dat. Obdobně děkujeme za asistenci týkající se zpracování pozemních měření Milanu Šálkovi a Vítu Květoňovi. Považujeme za svou povinnost poděkovat i vedení ČHMÚ za to, že jeden z autorů tohoto článku dostal možnost zúčastnit se spolu s pracovníky ČHMÚ studijního pobytu v Meteorologické službě USA.

Literatura

- [1] *Amitai, E.*: Relationships between radar properties at high elevations and surface rain rate: potential use for spaceborne rainfall measurements. *J. Appl. Meteorol.*, **38**, 1999, s. 321–333.
- [2] *Borga, M. – Tonelli, F.*: Adjustment of range-dependent bias in radar rainfall estimates. *Phys. Chem. Earth., (B)*, **25**, 2000, s. 909–914.
- [3] *Collier, C.G.*: Application of weather radar systems. 2nd ed. John Wiley & Sons 1996. 406 s.
- [4] *Duchon, C.E. – Renkevans, T.M. – Crosson, W.L.*: Estimation of daily area-average rainfall during the CePE experiment in central Florida. *J. Appl., Meteorol.*, **24**, 1995, s. 2704–2714.

- [5] *Fulton, R.A. et al.*: The WSR-88 rainfall algorithm. *Weath. Forecast.*, **13**, 1998, s. 377–395.
- [6] *Gabella, M. – Amitai, E.*: Radar rainfall estimates in an alpine environment using different gageadjustment techniques. *Phys. Chem. Earth.(B)*, **25**, 2000, s. 927–931.
- [7] *Gabella, M. – Joss, J. – Perona, G.*: Optimizing quantitative precipitation estimates using non-coherent and a coherent radar operating on the same area. *J. Geophys. Res.*, **105**, 2000, s. 2237–2245.
- [8] *Gibson, M.*: Comparative study of several gauge adjustment schemes. *Phys. Chem. Earth.(B)*, **25**, 2000, s. 921–926.
- [9] *Groisman, P.Ya. – Legates, D.R.*: The accuracy of United States precipitation data. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **75**, 1994, s. 215–227.
- [10] *Harrison, D.L. – Driscoll, S.J. – Kitchen M.*: Improving precipitation estimates from weather radar using quality control and correction techniques. *Meteorol. Appl.* **6**, 2000, s. 135–144.
- [11] *Havránek, P. – Kráčmar, J.*: Nová meteorologická radiolokační stanice na střední Moravě. *Meteorol. Zpr.*, **49**, 1996, s. 81–84.
- [12] *Joss, J. – Waldvogel, A.*: Precipitation measurements and hydrology. In *Radar in Meteorology. Battan Memorial and 40th Radar Meteorology Conference* (ed. by D. Atlas). Amer. Meteorol. Soc., 1990, s. 577–606.
- [13] *Kitchen, M. – Davies, A.G.*: Real-time correction of weather radar data for the effect of bright band, and orographic growth in widespread precipitation. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **120**, 1994, s. 1231–1254.
- [14] *Kračmar, J. et al.*: First steps towards quantitative usage of data from Czech weather radar network. *COST75 Advanced Weather Radar Systems. COST75 Final Seminar, Locarno, Switzerland, 23 to 27 March 1998*, s. 91–101.
- [15] *Metelka, L.*: Studie možností statistické korekce radarových odhadů srážek pomocí neuronových sítí na případu Rychnovska, 20.–23. 7. 1998. *Meteorol. Zpr.*, **53**, 2000, s. 146–152.
- [16] *Michelson, D.B. – Koistinen, J.*: Gauge-radar network adjustment for the Baltic sea experiment. *Phys. Chem. Earth.(B)*, **25**, 2000, s. 915–920.
- [17] *Novák, P.*: Meteorological interpretation of Doppler weather radar measurements. [Doctoral thesis.] Praha, 2000. 89 s.
- [18] *Řezáčová, D. et al.*: Statistical correction of radar based precipitation amount. *COST75 Advanced Weather Radar Systems. COST75 Final Seminar, Locarno, Switzerland, 23 to 27 March 1998*, s. 136–142.
- [19] *Seo, D.J.*: Real-time estimation of radar fields using radar rainfall and rain gage data. *J. Hydrol.*, 1998, **208**, s. 37–52.
- [20] *Sokol, Z. – Štekl, J.*: 3-D mesoscale objective analysis of selected elements from SYNOP and SYRED reports. *Meteorol. Z. Neue Folge*, 1994, **3**, s. 242–246.
- [21] *Šálek, M. – Kráčmar, J.*: Odhady srážek z meteorologického radiolokátoru Skalky. *Meteorol. Zpr.*, **50**, 1997, s. 99–109.
- [22] *Šálek, M.*: Přivalové srážky v podhůří Orlických hor 22.–23. července 1998 z hlediska metod dálkové detekce a výsledků numerických modelů. *Meteorol. Zpr.*, **53**, 2000, s. 4–15.

Lektor RNDr. L. Metelka, rukopis odevzdán v lednu 2001.

POČASÍ ROKU 2000

Fenomén XX. století.

(Viděno očima dobrovolného pozorovatele srážkoměrné stanice.)

Vážení čtenáři, říká se, že není nic tak staré jako včerejší noviny. Stejný vztah, jaký máme k vyčichlým informacím, máme i k počasí, které bylo v minulosti, ať před týdnem, měsícem, či delší dobou. V paměti nám utkví jen extrémy, a i ty musí být spojeny s nějakou osobní mimořádnou událostí, jako je cesta k oltáři po náledí, popršená drahá dovolená či nález košíku zdravých pravých hřibů, když jsme šli do lesa pro vánoční chvojí.

Počasí v minulém roce bylo ve svých jednotlivých obdobích tak zcela mimořádné, že něco podobného nemůže pamtovat nikdo z nás a nemohli to zažít ani naši rodiče, neboť tato klimatická jedinečnost daleko přesahuje celé minulé století.

Jaro bylo loni jen pojmem astronomickým. Ve skutečnosti vtrhlo do přírody hned v dubnu palčivě a suché léto. Sucho po celý duben, kdy spadlo v Chrastí jen 15,2 mm vody, a po obě první dekadý května připomnělo pamětníkům rok 1947. Loni zemědělci utrpěli nepřízní počasí značně hospodářské ztráty, zaorávali nevezšlé jařiny a výnosy mnoha plodin byly podprůměrné. Správce státní pokladny smýčil kouty ve snaze opatřit potřebné miliardy na náhradu ušlých výnosů. Pěstitelé zeleného zlata hrozili pro nízké výnosy dramatickým zdražováním tekutého chleba přes námítky pivovarníků, že k výrobě půllitru produktu, jehož pěna připomíná alpské ledovce, barva Zlaté písky a konzum šum Niagary, je cena chmele pouhých 6 haléřů.

V poslední třetině května a v první polovině června se srážkový deficit malinko zmírnil, velmi teplé počasí však přetrvalo. Kdo mohl, trávil teplé dny u vody. Učitelé s nasazením posledních morálně volných sil se snažili upoutat pozornost žactva k probírané látce. Mnohým pedagogům tanul na mysli pojem „vedřín“, tj. mimořádného školního volna, uplatňovaný v c.k. školství ve dnech, kdy vedrem zmožené mozečky odmítaly přijímat přednášené učivo.

Školní rok se mátožně dovlekl k závěrečnému zvonění. Leč od začátku července bylo rázem vše jinak. Silně se ochladilo. Déšť skrápěl vylištěná koupaliště a tábořiště. Kdo mohl, ten si doma aspoň v podvečer zatopil, kdo nemohl, zalitoval a choulil se do deky. Kasteláni a kustodi hradů, zámků, muzeí i galerií se radovali z nečekané návštěvnosti. Pršelo vydatně, např. 24. 7. spadlo v Chrastí 40,8 mm vody (této hodnoty nedosáhly měsíční úhrny šesti jiných měsíců r. 2000), za celý měsíc pak 133,5 mm. Zemědělcům dělalo starost sklidit ze zamokřených polí skromnou úrodu zakrslého obilíčka.

Srpen potěšil svou vlídností snad všechny. Předlouhý růženc dny jako vymalovaných se přehoupl přes začátek školního roku. S teplotami jen lenivě ustupujícími, k překvapení všech postupoval až do poloviny prosince. Les bohatě potěšil houbaře, sady vyryly vrásky do čel ovocnářů z téměř katastrofálně vysoké úrody. V listopadu kvetly louky málem jako zjara. Těm, kteří nespěchali se zimním zastřížením růží, se keře odměnily květy až do svátku sv. Lucie. Z balkonů, kam se v jiných letech tou dobou slétalo zpěvné plectvo k hodům u krmítek, se košatily hrozny květů převislých pelargonů.

První vločky sněhu padaly sporadicky na nezmrzlou zem

až 16. prosince. První jíní 26. 10. vyhánělo prokřehlé motýly z nevhodných úkrytů k zoufalým letům za lepším zimovištěm. Vánoce již téměř tradičně nebyly bílé. Až na úplný závěr roku spadlo ve dvou dnech 7 cm sněhu, který přestál nástup roku nového, a tím i předěl století a tisíciletí.

Ti nemnozí, kteří dočetli až sem, mohou posoudit přesné statistické údaje pro Pardubicko. Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu je 8,8 °C. V roce 2000 byla vyšší o 1,8 °C, což je nejvyšší dosažená hodnota za dobu sledování. V roce 1999 byla vyšší o 1 °C, v r. 1998 o 0,6 °C. Loni spadlo v Chrastí 629 mm vody, což bylo o 68 mm víc než v r. 1999 a o 10 mm méně než v r. 1998. Statisticky byl tedy rok 2000 teplotně výrazně nadnormální, srážkově normální.

Ladislav Nevečeřal

PROJEKT CLIDATA – INSTALACE V MAKEDONII A V GHANĚ

V roce 2000 se Český hydrometeorologický ústav rozhodl v rámci mezinárodní spolupráce vyhovět žádostem meteorologických služeb v Makedonii (Makedonski hydrometeorološki zavod) a v Ghaně (Meteorological Services Department) a poskytnout těmto službách komplexní instalaci klimatologické databázové aplikace CLIDATA. Stejným způsobem byl v roce 1993 poskytnut Českému hydrometeorologickému ústavu systém CLICOM a je tedy pochopitelné, že se snažíme tímto způsobem oplácet mezinárodnímu společenství jejich tehdejší postoj k našim potřebám. Celá akce byla průběžně konzultována s odpovědnými pracovníky sekretariátu Světové meteorologické organizace v Ženevě a naším hlavním cílem v roce 2000 bylo upozornit jednotlivé meteorologické služby na naše možnosti v této oblasti. Komplexnost našeho přístupu se značně odlišuje od podobných akcí jiných vyspělých meteorologických služeb zaměřených stále ještě na CLICOM.

Instalace aplikace CLIDATA je rozdělena do dvou úzce souvisejících částí. V první řadě jsme pozvali do České republiky předpokládaného administrátora aplikace z Makedonie a z Ghany na čtrnáctidenní školení. Školení, které proběhlo na pobočce ČHMÚ Ostrava v květnu 2000, se zúčastnili Boris Sekirarski ze Skopje a Andy Nkansah z Akkry. V rámci školení byly naplněny metadatové tabulky v aplikaci, připraven import datových souborů do datových struktur CLIDATA, vysvětleny souvislosti jednotlivých částí aplikace, provedeno úvodní zaškolení do jazyka SQL (Structured Query Language) a seznámení obou administrátorů s produktem Oracle Discoverer. Celé školení v Ostravě probíhalo na špičkovém hardwarovém vybavení, které jsme v zápětí odeslali příslušným meteorologickým službám a administrátorům tak mohli pokračovat v započaté práci ihned po svém návratu domů. Hardwarová sestava pro každou službu obsahovala NT server Compaq s instalovanou Oracle databází verze 8i s datovým modelem CLIDATA, jeden Compaq klient s instalací gisovského software ArcView a s aplikací CLIDATA a jeden Compaq klient s aplikací CLIDATA. Doplnkovou instalací na obou klientech byl Oracle Discoverer a MS Office 2000.

Druhá část výcviku již proběhla odděleně v makedonském Skopje (od 21. srpna do 8. září 2000) a v ghanské Akkře (od 27. listopadu do 15. prosince 2000) a obsahovala kontro-

lu hardwarového připojení do místních počítačových sítí LAN, opakování a dotazy vyplývající z určitého odstupu od ostravského školení a proškolení jednotlivých uživatelů v pořizování, kontrole a vybavování dat. Autoři aplikace, kteří se na těchto školeních aktivně podíleli (RNDr. Coufal a RNDr. Tolasz z ČHMÚ, Filip Křížka, ing. Marek Hersan a ing. Jiří Walder ze softwarové firmy ATACO, s.r.o.), získali velice cenné zkušenosti a řadu podnětných připomínek a návrhů na doplnění a změny v aplikaci CLIDATA.

Makedonie je samostatným státem vzniklým v roce 1991 osamostatněním z bývalé federativní Jugoslávie na základě občanského referenda. Do dnešních dnů není uznán její název (používá se The former Yugoslav Republic of Macedonia), je však členem OSN a dalších mezinárodních institucí. Životní úroveň obyvatelstva je úzce svázána s přítomností různých mezinárodních organizací na území těsně přiléhajícím k problémovým albánským, kosovským a srbským oblastem i v samotném hlavním městě republiky – Skopje. Přítomnost vojenských, zdravotnických a charitativních organizací přináší do republiky ekonomické stimuly podporující rozvoj služeb (hlavně hotelových a restauračních) a infrastruktury (oprava silnic a výstavba dálnic). Obyvatelstvo si pomalu začíná uvědomovat, že musí podporovat hlavně turistický ruch a zemědělství – mohli jsme srovnávat změny v myšlení a přístupu lidí i malých firem se svým předcházejícím pobytem v Makedonii v roce 1997. „Federativní“ uspořádání bývalé Jugoslávie mělo a má svůj vliv i v meteorologické službě. Pracovníci klimatologické části ústavu mají velké problémy s daty, které byly uloženy v Bělehradě – byly uloženy většinou v textových souborech, v různých formátech v různém stupni kvality. Za posledních 10 let byla data k dispozici ve formátu tabulkových procesorů, převážně MS Excel, přičemž některé měsíce a roky nenávratně zmizely. Naším hlavním úkolem bylo tedy připravit import všech těchto dat do CLIDATA a pokud možno tento import i zahájit. Napojení na operativní data z GTS (např. SYNOP) je možné pouze pomocí diskety, přestože jsou fyzicky ve stejné budově. Velkým problémem, se kterým jsme se v Makedonii setkali, je zažitý konzervatismus v přístupu k práci u některých pracovníků, projevující se v neochotě využívat nové možnosti zpracování klimatologických dat. Ve volných chvílích a o víkendech jsme měli možnost poznat nádhernou krajinu Makedonie, která je tvořena vysoko položenou planinou. Celá země je rozdělena na dvě nesporné části hlubokým údolím řeky Vardar, přičemž centrální oblasti (Skopje a okolí) jsou seismicky aktivní.



Obr. 1 Budova meteorologického ústavu ve Skopje. Foto L. Coufal.

Turisticky nepřitažlivější je okolí tektonického jezera Ohrid (349 km² s maximální hloubkou 286 m) na hraničním trojmezí s Řeckem a Albánií. Na mnoha místech jsou přístupné středověké kláštery, vypovídající o silném pravoslavném založení Makedonců (téměř 60 % se jich dnes hlásí k východní pravoslavné církvi).

Ghana je zemí s bohatou koloniální historií na pobřeží Guinejského zálivu, známá dříve pod názvem Zlatonosné pobřeží. Nevýrazný reliéf Voltské pánve je na východě ohraničena nevysokým pohořím Akwapim s nejvyšší horou Ghany (Mount Afadjoto, 885 m n. m.). Značná část této pánve (asi 8 500 km²) byla zatopena přehradou Akosombo, která se svými šesti turbínami představuje jediný zdroj elektrické energie pro celou Ghanu. Na jihu dvě (květen – červen a září – říjen) a na severu jedno (srpen – září) období dešťů rozdělují rok na vlhké a suché období s typickým tropickým klimatem. Severojižní orientace území podmiňuje i postupný vegetační přechod od pobřežních mangrovových porostů přes tropický les až k travnaté savaně na severu. Hlavním zdrojem obživy je zemědělství – polovina příjmů ze zahraničního obchodu je výsledkem vývozu kaka a dřeva. Postavení meteorologického ústavu ve státní hierarchii se zdá být pevné, jeho zaměstnanci si váží určité jistoty, kterou jim státní služba poskytuje. Produktivita práce a pracovní nasazení se však zdá být přímo úměrné teplotě a značné problémy způsobují i nespolehlivé telekomunikace (po celou dobu našeho pobytu byl ústav odříznut od vnějšího světa poruchou spojení mezi městskou telefonní ústřednou a městskou částí Legon, do které je ústav situován). Stejně jako v Makedonii i zde jsme měli možnost poznat nejbližší okolí hlavního města (ústav nám dal k dispozici auto se schopným a příjemným průvodcem – řidičem). Kvalita cest a komunikací je srovnatelná s kvalitou telekomunikací – pouze čtvrtina cest jsou cesty zpevněné a i ty mají daleko k našim okresním silnicím (výlet z Akkry k přehradě Akosombo a zpět nám zabral celou sobotu, najeli jsme asi 150 km). Pestrá krajina tropického lesa s mnoha vesničkami je příjemnou změnou oproti velkoměstskému stylu v centru Akkry. Hliněné přízemní domky jsou většinou doplněny televizní anténou na vysokém sloupu, popřípadě na blízké palmě, většina vesnic v jižní části Ghany je plně elektrifikovaná, problémem však je absence kanalizace. Nejsilněji na nás zapůsobila neuvěřitelná čistota obyvatel žijících v tomto prašném a na první pohled nehygienickém prostředí.

Několik měsíců po provedené instalaci je celá aplikace v Makedonii a v Ghaně v dobrém stavu a v každodenním pou-



Obr. 2 Budova meteorologického ústavu v Akkře. Foto L. Coufal.

živání, s pracovníky obou meteorologických ústavů jsme stále v úzkém kontaktu. Závěrem lze jen vyslovit přesvědčení, že mezinárodní aspekt vývoje aplikace CLIDATA bude i nadále důležitou součástí naší práce. Není neskromné sdělit odborné veřejnosti, že úroveň této aplikace je přijímána u našich zahraničních kolegů s velkým respektem a značnou zvědavostí.

Radim Tolasz – Lubomír Coufal

INFORMACE O VIII. PLENÁRNÍM ZASEDÁNÍ PRACOVNÍ SKUPINY I MEZIVLÁDNÍHO PANELU KLIMATICKÉ ZMĚNY IPCC

Ve dnech 17.–20.ledna 2001 se konalo v Šanghaji VIII. plenární zasedání 1. pracovní skupiny Mezivládního panelu klimatické změny IPCC. Jeho úkolem bylo projednat a schválit zprávu *Climate Change 2001: The Scientific Basis* jako příspěvek této pracovní skupiny ke Třetí souhrnné zprávě IPCC (*IPCC Third Assessment Report*). Příprava zprávy byla zahájena v roce 1998 a celý proces bude ukončen v roce 2001. V průběhu jednání se rovněž konalo mimořádné zasedání výboru IPCC, jehož je autor informace členem.

Tato pracovní skupina IPCC se zabývá zejména vědeckou a odbornou podstatou změny klimatu, analýzou dosavadních měření a pozorování a projekcemi vývoje změny klimatu v časovém horizontu konce 21. století. Na přípravě její zprávy se podílelo 123 hlavních autorů včetně koordinátorů, 516 spolupracujících autorů, 21 hlavních recenzentů a 300 expertních recenzentů. Plenárního zasedání se zúčastnilo asi 320 delegátů a 75 hlavních autorů ze 115 států.

Delegáti na úvod zasedání vyslechli přehledové zprávy k jednotlivým kapitolám, které přednesli jejich autoři. Poté byl obsah zprávy po jednotlivých tématech projednáván a v diskusi reagovali autoři na četné dotazy. Finální verze souhrnných výsledků, tzv. Summary for Policymakers, byla projednávána velice podrobně a výsledná verze vznikla jako konsenzus delegátů s konečnou dikcí textu.

Pokud jde o analýzy pozorování a měření, která popisují průběh změny klimatu do konce 20. století, došlo ke shodě, že např.:

- průměrná globální teplota povrchu Země se během 20. století zvýšila o 0,6 °C, z globálního hlediska byla poslední dekáda 20. století prokazatelně nejteplejší a rok 1998 byl prokazatelně nejteplejším rokem od r. 1861, kdy byla v širší míře prováděna přímá měření teploty,
 - v posledních čtyřech dekadách teplota vzrůstala v celé spodní osmikilometrové vrstvě atmosféry s trendem 0,1 °C za 10 let,
 - poklesla průměrná výška a horizontální rozsah sněhové pokrývky i rozsah území pokrytého ledovci,
 - průměrná výška hladiny světových oceánů vzrostla během 20. století o 10–20 cm,
 - srážkové úhrny ve středních a vyšších zeměpisných šířkách severní polokoule narostly ve 20. století s trendem 0,5–1% za 10 let a v tropických oblastech s trendem 0,2–0,3 % za 10 let; v subtropických oblastech severní polokoule byl ve stejné době zaznamenán pokles srážkových úhrnů s trendem 0,3 % za 10 let,
 - ve středních a vyšších zeměpisných šířkách se ve druhé polovině 20. století významně zvýšila četnost výskytu extrémních srážkových období.
- Současně se jako přímý důsledek lidské činnosti zvýšila

koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a jejich celková radiační účinnost. Koncentrace CO₂ vzrostly od roku 1750 o 31 % a jejich současné hodnoty jsou nejvyšší za uplynulých 420 tisíc let. V posledních dvaceti letech narůstají ročně o 0,4 % a přibližně 75 % všech antropogenních emisí CO₂ pochází ze spalování fosilních paliv. Koncentrace CH₄ vzrostly za stejné období o 151 % a koncentrace N₂O o 17 %.

Předložené výsledky panelu IPCC podaly další důkazy, že doložené globální oteplení v posledních padesáti letech lze přičíst na vrub lidské činnosti. Podle scénářů dalšího vývoje naší planety nelze zatím předpokládat, že by během 21. století došlo k zásadnímu omezení vlivu lidské činnosti. Je proto třeba, abychom byli připraveni na to, že antropogenní vlivy budou ovlivňovat složení atmosféry i nejbližší budoucnosti.

Proto musí varovat nové výsledky IPCC, které se týkají projekce změny klimatu do konce 21. století, které byly vypracovány na základě výsledků globálních klimatologických modelů GCM, zahrnujících scénáře IPCC SRES (IPCC Special Report on Emission Scenarios), které byly publikovány v roce 2000.

Výsledky projekcí dalšího vývoje změny klimatu do konce 21. století ukazují, že např.:

- průměrná globální teplota povrchu Země vzroste během 21. století o 1,4 až 5,8 °C, ač ještě před pěti lety naznačovala projekce navýšení pouze o 1,0 až 3,5 °C,
- nárůst teploty bude během 21. století velmi pravděpodobně nepoměrně vyšší, než byl jakýkoliv naměřený trend v minulém století a jak ukazují paleoklimatologická data, nebude mít velmi pravděpodobně období ani v historii posledních 10 tisíc let; lze očekávat, že teplota vzroste o 0,1 až 0,2 °C za 10 let,
- je velmi pravděpodobné, že globální oteplení se dotkne téměř všech částí planety, ale zejména severních částí Severní Ameriky, severní a střední Asie; naopak nižší než průměrný nárůst teploty lze očekávat v jižní a jihovýchodní Asii v létě a v jižní části Jižní Ameriky v zimě,
- globální koncentrace vodní páry v atmosféře a atmosférické srážky během 21. století vzrostou; je pravděpodobné, že do poloviny 21. století se významně zvýší ve středních a vyšších zeměpisných šířkách a v Antarktidě v zimním období,
- významnější budou změny ročních srážkových úhrnů v jednotlivých letech v těch oblastech, pro které jsou projektovány vyšší srážkové úhrny,
- lze předpokládat, že se zvýší variabilita srážek v době letních asijských monzunů,
- existují náznaky mírného zeslabování intenzity Golfského proudu, nicméně se nelze obávat, že by do konce 21. století byl významně omezen odpovídající přenos tepla do vyšších zeměpisných šířek severní polokoule,
- i nadále je třeba počítat s dalším poklesem průměrné výšky a horizontálního rozsahu sněhové pokrývky i rozsahu území pokrytého ledovci,
- průměrná výška hladiny světových oceánů vzroste do konce 21. století o dalších 10–90 cm,
- nelze zatím odhadnout, do jaké míry se globální změna klimatu projeví na četnostech výskytu některých extrémních povětrnostních jevů, z nichž značná část může mít i významné dopady na životní prostředí i společnost; rovněž nelze zatím očekávat významnější změny v amplitudě ani intenzitě výskytu El Niño v průběhu 21. století.

Bohužel je třeba vzít na vědomí, že globální změna klimatu vyvolaná lidskou činností může pokračovat i v dalších

stoletích jako jeden z důsledků dlouhodobého působení většiny skleníkových plynů (zejména CO₂, N₂O, PFC, SF₆). I kdyby ke stabilizaci koncentrací skleníkových plynů v atmosféře došlo, i poté ještě bude globální teplota planety Země dlouho vzrůstat.

Scénáře IPCC SRES, které byly k vypracování projekcí vývoje globálního klimatu použity, zohledňují v řadě variant možný demografický, sociální, ekonomický a technologický vývoj Země v časovém horizontu konce 21. století. Nezohledňují však žádné další doplňkové aktivity, a tedy neobsahují ani specifická opatření vyplývající z Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu nebo emisních cílů Kjótského protokolu.

Obsah dokumentu Summary for Policymakers je vzhledem k použitému procesu projednávání třeba vnímat jako souhrn nezpochybnitelných faktů o současném stavu poznání dosavadního průběhu změny klimatu i jejího předpokládaného dalšího vývoje. Jeho úplný text, jakož i popis scénářů IPCC SRES lze nalézt na adrese <http://www.ipcc.ch>. Vlastní zpráva, která bude obsahovat přibližně 1 000 stran textu včetně množství tabulek a grafických příloh a velmi obsáhlého seznamu zcela nejnovější literatury k jednotlivým tématům, bude vydána tiskem ve druhé polovině roku 2001.

Jan Pretel

XII. ZASEDÁNÍ KOMISE ZÁKLADNÍCH SYSTÉMŮ SVĚTOVÉ METEOROLOGICKÉ ORGANIZACE

XII. zasedání Komise základních systémů (CBS) se konalo od 28. listopadu do 8. prosince 2000 v budově Světové meteorologické organizace (SMO). Zasedání se zúčastnilo 192 zástupců z 85 členských států SMO a 10 mezinárodních organizací, čímž se toto zasedání stalo největším v dosavadní historii CBS. Prezidentem CBS na další čtyřleté období byl zvolen Dr. G. B. Love (Austrálie) a vice-prezidentem CBS Dr. A. I. Gusev (Ruská federace).

CBS koordinuje činnost základních systémů GOS (Global Observing System), GTS (Global Telecommunication System), Data Management a GDPS (Global Data Processing System). Do oblasti působnosti CBS patří také problematika meteorologických služeb veřejnosti.

Zasedání posoudilo efektivnost nové struktury CBS, která byla ustanovena na mimořádném zasedání CBS v roce 1998. Tato struktura je založena na činnosti čtyř pracovních skupin s otevřeným členstvím (OPAG), tj. pracovních skupin Integrované pozorovací systémy (GOS), Informační systémy a služby (GTS a Data Management), Systémy zpracování dat a předpovědí (GDPS) a Meteorologické služby veřejnosti. Činnost každé OPAG řídí její vedoucí a jejich zástupce a realizuje se výhradně formou korespondence. Vývoj nových postupů a metod je zajišťován v rámci expertních týmů. Činnost těchto týmů probíhá jak formou korespondence, tak i na zasedáních jejich členů. Členové expertních týmů byli na zasedání CBS vybráni z odborníků, kteří byli navrženi svými národními meteorologickými službami (NMS).

1. Integrované pozorovací systémy

- **Stav GOS.** Počet zpráv SYNOP, SHIP a AIREP zůstává bez podstatné změny ve srovnání s rokem 1996, počet zpráv BUOY a zejména zpráv AMDAR se výrazně zvýšil. Počet zpráv TEMP poklesl, což je způsobeno hlavně

citelným úbytkem aerologických měření ve státech bývalého Sovětského svazu. Další problém představuje nedostatečná spolehlivost radiosond GPS (Global Positioning System). Nedostatek aerologických měření může být částečně kompenzován asimilací dat AMDAR (Automatická měření z letadel) z fáze vzletu a přistání. Aktivity WMO AMDAR Panelu směřují k zajištění dat AMDAR jako zdroje výškových dat. Objem satelitních dat se zvýšil a také se od roku 1995 výrazně zvýšila schopnost příjmu satelitních dat; nyní již 84 % států je vybaveno přijímačem dat z družic s polární drahou a 87 % přijímačem dat z geostacionárních družic.

- **Databáze CEOS/WMO.** Popis systémů GOS a přehled požadavků na GOS data je uveden v CEOS/WMO databázi. Tato databáze je strukturována podle 34 geografických oblastí a podle kategorií programových zaměření (požadavky numerických předpovědních modelů, synoptické meteorologie, nowcastingu, hydrologie a agrometeorologie).
 - **Data z automatických meteorologických stanic (AWS).** Požadovaný rozsah dat a metadat z AWS může být vyjádřen pouze pomocí datových formátů BUFR nebo CREX, tradiční znakové kódy nejsou k tomuto účelu vhodné. Pro splnění požadavků na výměnu dat z AWS je nutné vytvořit nové deskriptory a datové sekvence pro BUFR/CREX.
 - **Zprávy CLIMAT a CLIMAT TEMP.** Počet a kvalita požadovaných zpráv CLIMAT a CLIMAT TEMP se nikterak nezvýšily ani v rámci GCOS (Global Climat Observing System), který byl vytvořen ve spolupráci CBS a CCI (Komise pro klimatologii). Monitoring kvality dat zpráv CLIMAT provádí od 1. 1. 1999 DWD (Německo) a JMA (Japonsko) a kvalitu dat zpráv CLIMAT TEMP ze stanic GCOS monitoruje ECMWF.
- ### 2. Informační systémy a služby
- **Stav a vývoj GTS.** V současnosti se GTS skládá z páteřní sítě MTN (Main Telecommunication Network), regionálních sítí RMTN (Regional Meteorological Telecommunication Networks) a ze satelitního spojení. Zasedání podpořilo projekt „Improved MTN“, který zvýší kapacitu přenosu dat, flexibilitu a cenovou efektivnost GTS. Prvním krokem při realizaci tohoto projektu je vytvoření Regionální meteorologické komunikační sítě v RA VI (Evropa), která dosud spojuje 31 národních center a ECMWF.
 - **Internet.** Byla posouzena stále rostoucí role internetu a jeho koexistence s GTS a s tím související nutnost ochrany operačních systémů. Byl vydán WMO Guide on Internet Practices, který obsahuje doporučené postupy pro NMS při využívání internetu. Tato publikace je k dispozici na serveru SMO a bude průběžně inovována.
 - **Rozsah frekvenčních pásem.** Úspěšným jednáním na Světové radiokomunikační konferenci (WRC-2000) se podařilo zachovat dosavadní rozsah frekvenčních pásem pro meteorologické účely. Redukce frekvenčních pásem by vedla ke zvýšení nákladů na frekvenčně stabilnější sondy a v důsledku k úbytku výškových dat. I nadále je nutné hájit existující rozsah frekvencí (příští WRC se bude konat v roce 2003).
 - **Monitoring výměny dat.** Dosavadní pravidelný roční monitoring a speciální MTN monitoring včasností a objemu dat by měl být nahrazen systémem integrovaného monitoringu, který umožní kromě jiného také zjištění

objemu výměny dat ve vztahu k Resoluci 40 (Cg-XII). Ta byla schválena XII. světovým meteorologickým kongresem ve snaze omezit zneužívání meteorologických dat komerčními organizacemi na území cizích států. Navržený systém integrovaného monitoringu bude testován a výsledky budou posouzeny na příštím zasedání CBS v roce 2002.

- **Migrační strategie.** Podle navrženého projektu migrační strategie se bude postupně eliminovat použití tradičních znakových kódů a veškerá měření a pozorování budou předávána jen ve formátech BUFR nebo CREX. Byl ustanoven expertní tým, který pro příští zasedání CBS připraví konkrétní postupy pro realizaci tohoto projektu. SMO bude organizovat semináře pro rozvojové země, ostatní NMS provedou vyškolení svých pracovníků do roku 2005.
- **Kódové procedury.** Zasedání schválilo změny v leteckých kódech METAR, SPECI, TAF a ARFOR s platností od 1. listopadu 2001. Dále doporučilo zařazení metadat do sekce 4 kódu BUOY a návrh BUFR/CREX deskriptorů pro vyjádření intenzity srážek a pro stav a průběh počasí hlášených z automatických stanic s platností od 7. listopadu 2001. K těmto datům se zavádí do operativního užití kód GRIB – Ed. 2 (FM 92-XII GRIB), který umožní také kódování nových typů dat, např. výstupů EPS, transportních modelů a dlouhodobých předpovědí. Kód GRIB – Ed.1 však zůstane v platnosti i po tomto datu a bude nadále používán, např. v letectví.
- 3. **Systémy zpracování dat a předpovědí**
 - **Ensemble prediction systems (EPS).** Zasedání zdůraznilo důležitost produktů EPS pro kvalitu předpovědí a stanovilo minimum produktů EPS, které by každá NMS měla mít k dispozici. Bylo také doporučeno, aby studijní plán na univerzitách zahrnoval tematiku EPS a využívání jeho produktů.
 - **Předpověď nebezpečných jevů.** Vytvoření jednotných postupů pro předpověď nebezpečných jevů není prakticky možné z důvodu velmi rozdílného technického vybavení národních služeb, ale zejména pro velkou různorodost počasí v jednotlivých klimatických pásmech. Pro oblast Evropy ECMWF vyvíjí program pro předpověď nebezpečných jevů (období předpovědi do 10 dnů), který bude k dispozici pro národní služby v RA VI.
 - **Verifikace dlouhodobých předpovědí.** Procedury pro verifikaci dlouhodobých předpovědí (sezonních až ročních) jsou vyvíjeny ve spolupráci s experty z CCI a experimentálně používány (Kanadská meteorologická služba nabídla bezplatně poskytnout software). Zasedání přijalo nabídku Austrálie, aby světové meteorologické centrum Melbourne plnilo také funkci vedoucího centra se specializací na verifikaci dlouhodobých předpovědí.
 - **Meteorologické zajištění při jaderných haváriích.** SMO pokračovalo ve spolupráci s CTBTO (Comprehensive Test-Ban Treaty Organization) a s IAEA (International Atomic Energy Agency). Zasedání schválilo revidovaný systém zásad pro poskytování předpovědí transportních modelů v případě jaderných, chemických a ostatních havárií. Distribuce předpovědí transportních modelů se bude i nadále standardně provádět faxem, ale testuje se distribuce pomocí e-mailu, ftp, apod.
 - **Kontrola kvality pozorování.** Regionální meteorologická centra se specializací na monitoring kvality přízemních pozorování budou monitorovat také množství srážek

a rozšíří kontrolu dat také o kontrolu geopotenciální výšky standardních hladin.

4. Meteorologické služby veřejnosti

- **Média a internet.** Mezi nejdůležitější úkoly pracovní skupiny Meteorologické služby veřejnosti patří zajištění předpovědi a výstrah a jejich prezentace a distribuce hromadnými sdělovacími prostředky. Jako cílové řešení na globální úrovni bylo doporučeno zřídit centrální web-server, kde by byly k dispozici autorizované výstrahy a předpovědi ve formátu vhodném pro prezentaci hromadnými sdělovacími prostředky. Kromě výstrah a předpovědí extrémních jevů by na tomto serveru byly k dispozici i pravidelné předpovědi. Zasedání podpořilo pilotní projekt, podle kterého národní služby budou zasílat předpovědi pro svá významná města do centrálního serveru.
- **Regionální server Hongkongu.** Funkci centrálního serveru může doplnit systém regionálních serverů. Zástupci Hongkongu (Čína) demonstrovali použití internetu pro šíření informací a předpovědi specializovaných na tropické cyklony. Na regionálním web-serveru Hongkongu jsou k dispozici naměřená data, předpovědi a výstrahy, kterými přispívají národní služby dané oblasti. Média mají pomocí internetu přístup k požadovaným informacím, u kterých je vždy uvedena identifikace původu.
- **Výstrahy na nebezpečné jevy.** Výměna informací a výstrah mezi sousedními státy v nebezpečných meteorologických situacích se realizuje buď v otevřené řeči, nebo pomocí regionálního kódu WAFOR. Další možností je grafická prezentace výstražných předpovědí – návod bude publikován formou technického dokumentu SMO.
- **Guide to Public Weather Practices.** Nová edice publikace Guide to Public Weather Practices, WMO-No.834 byla vydána v roce 2000. Tento návod je doplněn čtyřmi CD-ROM. Celý soubor je nyní k dispozici v knihovně ČHMÚ.

Eva Červená

ŠEDESÁTÉ NAROZENINY

RNDr. JANA MUNZARA, CSc.

K datu narození jubilujícího kolegy, pokud je mi známo, se neváže žádná povětrnostní pranostika, což mne mrzí, protože širší veřejnost ho zná především podle lidových průpovědek o počasí, jichž je nedostížitelným šifritelem a vykladačem. Přitom pranostiky tvoří jen malou část jeho odborného zájmu a zlomek publikační produkce, která činí asi 160 odborných prací různého rozsahu, kromě biografií a bibliografií, mnoho populárně vědeckých článků v časopisech, novinových příspěvků a úspěšných knižních publikací.

Klimatolog, historik a popularizátor meteorologie RNDr. Jan Munzar se narodil 6. dubna 1941 v Praze v rodině bankovního úředníka. Po maturitě studoval v letech 1958–1963 na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy specializaci meteorologie a klimatologie. Inklinoval ke klimatologii, z níž pod vedením RNDr. Františka Reina, CSc. (1929–1981) vypracoval diplomovou práci na téma „Podmínky výskytu různých typů mezní vrstvy atmosféry v průmyslové oblasti severozápadních Čech“; zapadalo do výzkumných úkolů Ústavu fyziky atmosféry ČSAV. Ten se stal také prvním jubilantovým pracovištěm. V oddělení mezní vrstvy atmosféry se zabýval problematikou podnebí severozápadních Čech ve vztahu ke znečištění ovzduší a získal pozorovatelskou praxi

na meteorologických observatořích ÚFA ČSAV na Milešovce a v Kopistech u Mostu.

Z rodinných důvodů v roce 1969 změnil místo i bydliště. V Brně byl přijat do Geografického ústavu ČSAV jako redaktor interních tisků a teprve později se mohl zapojit do výzkumu. Působil postupně v oddělení Rady vzájemné hospodářské pomoci, oddělení fyzické geografie a v laboratoři pro regionální výzkum životního prostředí. Po zrušení ústavu v roce 1993 se stal vědeckým pracovníkem oddělení geografie životního prostředí v Brně, které je součástí Ústavu geoniky AV ČR se sídlem v Ostravě. Je členem jeho vědecké rady a předsedou redakční rady mezinárodního časopisu *Moravian Geographical Reports*, který ústav od roku 1993 vydává.

Dr. Munzar se vypracoval na specialistu v otázkách antropogenního vlivu na klima a mezoklima městských a průmyslových aglomerací. Důkazem jsou jeho studie z oblasti Severočeského hnědouhelného revíru, např. [5, 9, 11], Ostravska, např. [13, 15, 16], hodnocení klimatického potenciálu krajinných celků (Liberecko, Teplicko, jižní Morava), analýzy podnebí Brna či lázní Luhačovice. Oblastí se silně znečištěným ovzduším se týkala i jeho kandidátská dizertační práce z geografie Antropogenní vlivy na počasí a podnebí Ostravska a Mostecká z roku 1977.

Z přípojeného výběru publikací, jež vycházely také v angličtině nebo němčině, a mnohé v zahraničí, je přes pestrost zpracovaných témat zřetelný jeden společný rys. Je jím autorův trvalý zájem o historickou problematiku, který se táhne celým jeho rozsáhlým dílem. (Poznávání minulosti vábilo jubilanta již před maturitou, takže si k ní jako volitelný předmět vybral právě dějepis, a za vysokoškolských studií ho přivedlo i k průvodcovství Prahou.) Proto ve výzkumu s úspěchem uplatňuje zvláště po roce 1989 historický aspekt.

Jeho historizující studie jsou několika druhů. Patří k nim životopisy osobností a rozbory jejich přínosu pro meteorologické poznání, např. [3, 6, 22, 50, 59, 64, 69], i výsledky zdoluhavých pátrání v tuzemských a zahraničních archívech po stopách starých meteorologických pozorování a jejich autorech, např. [54, 57, 60, 62, 65]. Tato studia přispěla k rekonstrukci středoevropského podnebí zvláště v 16.–18. století. Zdůrazňuji, že Munzara problematika historického klimatu a jeho změn zajímala dříve, než se stala předmětem obecnějšího, i konjunkturálního zájmu; neměl však možnost se jí tehdy systematicky zabývat.

Jubilant si byl vědom toho, že zhodnocení díla postav naší meteorologie se neobejde bez úplných a přesných bibliografií, a proto sám některé sestavoval, doplňoval a opravoval, např. [68]. Náročně nebylo jen sepsání publikací starých autorů, ale i současníků, např. F. Reina. Některé Munzarovy články pojednávají o významných momentech ve vývoji české meteorologie, jako bylo první vydávání předpovědí počasí pro rolníky přímo na pole [19], využití počítačích strojů ke klimatologickému zpracování [20], meteorologické zabezpečování leteckých akcí [31, 35], jiné se věnují klimatickým rekordům [8, 28], terminologickým otázkám [30] a od 90. let víceméně soustavně nebezpečným meteorologickým a hydrologickým jevům, jako jsou tromby [45], tuhé zimy [73] a historické povodně v českých zemích, např. [67, 74].

Zvláštní jubilantovou zálibou je zjišťování meteorologických okolností historických událostí, třeba bitvy u Slavkova v roce 1805 nebo Mozartova pohřbu. Jde o činnost téměř detektivní, protože zpravidla nejsou k dispozici potřebné meteorologické údaje. Proto knížku s touto tematikou a příslušející k literatuře faktu nazval „Meteorologie skoro detek-

tivní“ [39]. Získala Cenu Českého literárního fondu stejně jako starší knížka „Medardova kápe aneb pranostiky očima meteorologa“ [36], která již vyšla ve třech vydáních. Cena nakladatelství Mladá fronta byla udělena „Malému průvodci meteorologií“ [36], který je užitečnou pomůckou všem zájemcům o počasí a podnebí. Uvedená ocenění svědčí o tom, že J. Munzar má schopnost zdařile popularizovat vědu, že při psaní myslí na čtenáře, píše poutavě a srozumitelně. Proto mu v roce 1996 byla udělena i Cena AV ČR za popularizaci.

Přesto si jubilant ze svého literárního díla asi nejvíce cení redakčního a autorského podílu na Meteorologickém slovníku výkladovém a terminologickém [43], který patří k profilovým spisům čs. meteorologie. Nedívím se tomu nejen vzhledem k dobré kvalitě slovníku, nýbrž i proto, že vím, kolik úsilí, času a znalostí mu po sedm let věnoval. Uplatnil v něm i velké redaktorské zkušenosti a výklady hesel iniciativně obohatil o četné historické doplňky (jména a životopisná data autorů, objevů apod.), které by čtenáři jinde obtížně hledali.

RNDr. Jan Munzar, CSc., je poctivý badatel, pilný a precizní vědecký pracovník. Navíc je velmi slušný člověk, a to je hodně. V době nesvobody nebylo mnoho statečných lidí, kteří umožňovali publikovat těm, jimž to bylo zakázáno; jubilant jim pomáhal ještě i jinak. Při vědecké práci nezapomíná na rodinu a mnoho času věnuje dceři, která neměla to štěstí, aby se narodila zdravá.

Částečným přispěvateli a spolupracovníku Meteorologických zpráv přejeme dobré zdraví, pohodu a tvůrčí úspěchy do dalších let.

Výběr z publikací RNDr. Jana Munzara, CSc.

- [1] Přechlazené mlhy v Podkrušnohoří. *MZ*, **19**, 1966, č. 3–4, 122–124.
- [2] Doba trvání srážek na Milešovce a v nížině severozápadních Čech. In: Zbor. prác TANAP, **10**, 191–197. Martin 1967.
- [3] Matyáš Borbonius z Borbenheimu a jeho meteorologická pozorování z let 1596–1598, 1622 (spoluautor K. Pejml). *MZ*, **21**, 1968, č. 3, 93–95.
- [4] Das Wetter in den Jahren 1596–1597 nach dem Tagebuch des Mathias Borbonius von Borbenheim (spol. K. Pejml). *Vierteljahress. Naturf. Ges. Zürich*, **113**, 1968, No. 4, 407–416.
- [5] Větrné poměry Mostecké pánve ve vztahu ke znečištění ovzduší. *Studia Geogr.*, **14**, 79–129. Brno 1970.
- [6] G. Mendel's erste, bis jetzt unveröffentlichte Abhandlung über Meteorologie. In: *Folia Mendel.*, 185–187. Brno 1971.
- [7] Einige Klimabesonderheiten des Südhänge des Erzgebirges. *Prace geogr.*, **26**, 296–300. Krakov 1971.
- [8] Temperatur- und Niederschlagsextreme auf dem Territorium Tschechoslowakei. *Acta fac. rer. nat. univ. Comen.*, *Meteorologia V*, 137–149. Bratislava 1972.
- [9] Bemerkungen zu den Bodenwindrosen der Verschmutzung der Atmosphäre. *Zb. prác HMÚ v Bratislave*, **4**, 1972, 181–186.
- [10] The oldest description of the climate of Moravia from the year 1815. *Folia fac. sci. nat. univ. Purkyn. brun.*, *Geographia*, **8**, 1973, 97–105.
- [11] Podnebí Severočeské hnědouhelné pánve ve vztahu ke znečištění ovzduší. *Zprávy Geogr. úst. ČSAV*, **10**, 1973, č. 5–6, 7–18.
- [12] Znečištění ovzduší na Ústecku před 80 lety jako bioklimatologický problém. In: *Živ. prostředí a bioklimatologie*. Praha 1974, 104–109.
- [13] Antropogenní vlivy na podnebí města Ostravy. In: *Bioklima města a volné krajiny*, Mar. Lázně 1976, 40–52.

- [14] Byla zima 1974/75 dosud nejteplejší ve střední Evropě? In: Sb. ref. semin. k 200. výročí obs. v Praze-Klementinu. Praha HMÚ 1977, 43–47.
- [15] Atmospheric pollution and radiation conditions of the ground layer of the atmosphere in the town of Ostrava (spol. J. Nekovář). In: *Contrib. of the Geoph. Inst. of SAS, Meteorology*, 2, 1978, 61–66. Bratislava.
- [16] Vymezení vlivu ostravské průmyslové oblasti na atmosférické srážky. In: Sb. ref. konf. k problematice živ. prostředí 1977, 92–98. Ostrava 1978.
- [17] Změnilo se naše podnebí za posledních 1000 let? Roč. Lidé a Země 1977, 49–59. Praha 1976.
- [18] Podnebí měst včera, dnes a zítra. In: Roč. Lidé a Země 1981, 69–77. Praha 1980.
- [19] Krátkodobé předpovědi počasí pro zemědělce na Moravě před sto lety. In: *Vzájemné styky meteorologie a zemědělství*, sb. konf. v Solenicích 1980, 189–193. Praha, ČHMÚ 1981.
- [20] Počátky využití výpočetní techniky v meteorologii. In: *Výpočetní technika v meteorologii...*, sb. ref. semin. Valtice 1982, díl 2., 115–120. Praha, ČHMÚ 1982.
- [21] Podnebí Brna. *Studia Geogr.*, 83, 45–66. Brno 1983.
- [22] Gustav Swoboda – průkopník moderních meteorologických prognóz v Československu. In: *Meteorol. prognózy*, sb. ref. semin. v Roztokách u Křivoklátu, díl 2., 98–104. Praha 1983.
- [23] Anthropogenous influences upon atmospheric precipitation in the windward side of the Moravskoslezské Beskydy Mts. *Prace geogr.*, 57, 361–366. Krakov 1983.
- [24] Dr Gustav Swoboda and Bergen School. *World Meteorol. Org. Bull.* 32, 1983, No. 4, 349–350.
- [25] Klima a zemědělství. Roč. Lidé a Země 84, 76–83. Praha 1983.
- [26] A contribution to the reconstruction of weather in Central Europe at the end of 16th century. In: *Clim. Changes on a Yearly to Millenial Basis*, eds. N. A. Mörner – W. Karlén, 339–342. Dordrecht 1984.
- [27] Meteorologické aspekty bitvy u Slavkova 2. 12. 1805. In: Uhlíř, D., *Slunce nad Slavkovem*, příl. 5, 406–407. Praha, MF 1984. 2. vyd., s. 449–451. Třebíč, Akcent 2000.
- [28] Teplotní zvláštnosti tropického léta 1983 v ČSSR a v Evropě (spol. K. Krška). *MZ*, 37, 1984, č. 2, 33–40.
- [29] The present problems of reconstruction of climatic variations on the territory of Czechoslovakia in the historical period. *Sb. Čs. geogr. spol.*, 89, 1984, č. 2, 123–127.
- [30] Vývoj a současný stav české meteorologické terminologie (spol. K. Krška). In: *Trendy rozvoje hydrologie a meteorologie...*, sb. ref. konf. 1984, 113–118. Praha, ČHMÚ 1984.
- [31] Z počátků letecké meteorologie na území Československa. *Pr. a štúdie SHMÚ*, 23, 29–36. Bratislava 1984.
- [32] Medardova kápě aneb pranostiky očima meteorologa. Praha 1985. 236 s.; 2. vydání 1986, 238 s.; 3. rev. vyd. 2000, 279 s.
- [33] Franciszek Karliński and his activities in Prague from 1855 to 1862. *Prace geogr.*, 69, 39–44. Krakov 1986.
- [34] První doklady o antropogenních vlivech na podnebí měst v Česku. *MZ*, 41, 1988, č. 4, 122–124.
- [35] Meteorologické zabezpečení přeletu vzducholodi Italia nad Československem v roce 1928 (spol. K. Pejml). *Pr. a štúdie SHMÚ*, 41, 39–49. Bratislava 1989.
- [36] Malý průvodce meteorologií (spol. K. Krška, M. Nedelka, K. Pejml). Praha 1989. 247 s.
- [37] The analysis of the input data for a study of climatic fluctuations (spol. K. Pejml). In: *Clim. change in the hist. and the instrumental periods*, ed. R. Brázdil, 144–146. Brno 1990.
- [38] Tree-ring structure response of conifers in Europe to weather conditions in 1912 with regard to the volcano Katmai eruption (spol. J. Kyncl, J. Dobrý, K. G. Saradjishvili). In: *Climatic change ...*, ed. R. Brázdil, 159–163. Brno 1990.
- [39] *Meteorologie skoro detektivní* (spol. K. Pejml, K. Krška). Praha 1990. 284 s.
- [40] Po stopách první české příručky meteorologie. IX. zborník dejín fyziky, 127–132. Lipt. Mikuláš 1991.
- [41] Weather patterns in Czechoslovakia during the years 1588–1598. *Paläoklimaforschung*, Bd. 7, 51–56. G. Fischer Stuttgart 1992.
- [42] Early meteorological instrumental records in Bohemia. *Prace geogr.*, 95, 75–79. Krakov 1993.
- [43] *Meteorologický slovník výkladový a terminologický* (spol. J. Bednář et al.). Praha 1993. 594 s.
- [44] New knowledge on the meteorological measurement performed in eastern Slovakia in the 18th and 19th centuries. In: 16th Int. conf. on Carpathian meteorology, Smolenice 1993, Proc., ed. E. Závodská, 9–14. Bratislava 1993.
- [45] Tromby (tornáda) na území České republiky v letech 1119 – 1993. XI. zb. dejín fyziky, 69–71. Lipt. Mikuláš 1994.
- [46] Reconstruction of the climate of Bohemia and Moravia in the period of 1675–1715 on the basis of written sources (spol. R. Brázdil, P. Dobrovolný, B. Chocholáč). *Paläoklimaforschung*, Bd. 13, 109–121. G. Fischer Stuttgart 1994.
- [47] K počátkům antropogenních vlivů na podnebí Prahy a Brna. *Sb. Čes. geogr. spol.*, 99, 1994, č. 1, 14–19.
- [48] The discovery of daily weather observation records in Moravia from 153–1545. In: *Contemp. climatology*, eds. R. Brázdil, M. Kolář 409–413. Brno 1994.
- [49] Znehodnocování životního prostředí Prahy v 19. století. *Hist. geogr.* 28, 239–254. Praha 1995.
- [50] Gregor Mendel and urban environment. *MGR*, 2, 1994, č. 2, 49–51.
- [51] The towns and extreme weather events. In: *Geography and urban environment*, ed. A. Vaishar, 23–26. Brno 1995.
- [52] Deterioration of the urban environment in the Czech Republic in the 19th century: air pollution as a case study. In: *The changing nature of the people-environment relationship: evidence from a variety of archives*, eds. I. G. Simmons – A. M. Mannion, 41–45. Praha 1995.
- [53] Atmospheric hazards in the Czech Republic: spouts (tornadoes) as a case study. *Studia Geogr.*, 98, 57–64. Brno 1995.
- [54] První systematická denní pozorování počasí na území České republiky z let 1533–1545. *MZ*, 48, 1995, č. 4, 105–108.
- [55] The „cold-wet“ famines of the years 1695–1697 in Finland and manifestations of the Little Ice Age in Central Europe. In: *Intern. conf. on past, present and future climate*, ed. P. Heikinheimo, 167–170. Helsinky 1995.
- [56] Early 17th century weather in Prague after J. Kepler's observations. In: *Climate variability and climate change vulnerability and adaptation*, ed. I. Nemešová, 46–48. Prague 1996.
- [57] Meteorologická pozorování Karla ze Žerotína z let 1588–1589, 1591. *MZ*, 49, 1996, č. 2, 58–61.
- [58] A contribution to the reconstruction of weather and environment in Central Europe in the 16th century. *MGR*, 4, 1996, č. 1, 40–46.
- [59] Antonín Strnad (1746–1799), průkopník české meteorologie. *MZ*, 49, 1996, č. 6, 161–166.
- [60] Počátky systematických pozorování počasí v Čechách do r. 1555 (spol. P. Maťa). *MZ*, 50, 1997, č. 5, 142–147.
- [61] Historické povodně a jejich vliv na sídla a krajinu v dolním Pooohří (spol. J. Pařez). *Hist. geogr.*, 29, 211–238. Praha 1997.

- [62] Jan Strialius a jeho meteorologická pozorování z Čech a Německa z let 1558–1582. MZ, **51**, 1998, č. 5, 149–153.
- [63] První „český“ návod pro pozorování počasí z r. 1817. XV. zb. dejín fyziky, 45–50. Lipt. Mikuláš 1998.
- [64] Gregor Mendel and the tornado in Brno on 13th October 1870. MGR, **6**, č. 1, 53–60.
- [65] Daily weather observations in sixteenth-century Europe (spol. Ch. Pfister et al.). In: Clim. variability in sixteenth-century Europe and its social dimension, eds. Ch. Pfister, R. Brázdil, R. Glaser, 111–150. Dordrecht etc. 1999.
- [66] Města a nebezpečné hydrometeorologické jevy. Doc. pragensia, XVI, 1998, 287–303.
- [67] Historical floods in Bohemia and Moravia on the example of the year 1598. MGR, **6**, 1998, č. 2, 50–58.
- [68] Meteorologické publikace královského astronoma Antonína Strnada (1746–1799) (spol. V. Kakos). MZ, **52**, 1996, č. 6, 182–184.
- [69] Giuseppe Toaldo and his repercussion in the Czech Lands. In: Giuseppe Toaldo e il suo tempo, eds. L. Pigatto, P. Casini, 721–729. Padova 2000.
- [70] Early meteorological measurements in the Czech Lands. In: Giuseppe Toaldo ..., 891–898. Padova 2000.
- [71] Počátky kvantifikace přírodních složek životního prostředí v Čechách v 18. století na příkladu ovzduší. Hist. geogr., **30**, 119–134. Praha 1999.
- [72] Selected historical floods in Moravia in the preinstrumental era in Central-European context. Prace geogr., **107**, 119–125. Krakov 2000.
- [73] Zima 1829/30 – nejtužší ve střední Evropě od počátku měření teploty vzduchu (spol. V. Kakos). MZ, **53**, 2000, č. 4, 103–108.
- [74] Floods in Central Europe after the exceedingly severe winter season 1829/1830. MGR, **8**, 2000, č. 2, 45–57.
- [75] Povodně v českých zemích v tisících 16. století (spol. L. Kysučan). Misc. odd. rkp. a st. tisků NK ČR, **15**, 1998, 128–140. Praha 2000.
- (MZ = Meteorologické zprávy, MGR = Moravian Geographical Reports)

Karel Krška

ZEMŘEL RNDr. OTTO ŠEBEK



Když jsme v prvních únorových dnech letošního roku obdrželi smuteční oznámení, že dne 5. února 2001 zemřel ve věku 74 let RNDr. Otto Šebek (nar. 17. 8. 1926), nezasáhly kupodivu mnohé z nás, pamětníků, pocity truchlivé, zarmucující ani bolestné. Naopak, vybavily se nám vzpomínky na události a zážitky vesměs radostné, zábavné a srdce potěšující. Protože Otto i ve vážných situacích našel většinou cestu k odlehčení problémů

a svým osobitým jemným humorem a vtipem dokázal překlenout možné konflikty. Možná, že v současné době, založené daleko více na konfrontaci, by jeho metoda nebyla tak úspěšná. Ale Otto používal tuto zušlechťující metodu důsledně, snad i proto, že jeho lidský příběh byl provázený okolnostmi,

kteří by nezakotveného a méně stabilního člověka posunuly do negativních postojů, zatrpklosti, nebo dokonce k úvahám nad marností jakéhokoli pozemského konání. Ale nikoli Otty Šebka. Ač sužován úmrtím své ženy i vlastní nemocí, vychoval a dovedl dceru k vysokoškolskému vzdělání. A na jediném pracovišti svého života – v Českém hydrometeorologickém ústavu – se dokázal prosadit jako uznávaný odborník a vedoucí pracovník. Přičemž i v nelehkých dobách vždy uměl čelit takovým poměrům, v nichž by jeho dobro znamenalo pro jiné zlo.

I když lidský a odborný profil Otty Šebka byl podrobně prezentován v medailonu k šedesátým narozeninám [1], na který odkazujeme, přesto zrekapitulujeme alespoň zásadní faktografii.

V Hydrometeorologickém ústavu začal pracovat bezprostředně po ukončení studií na Přírodovědecké fakultě Karlovy univerzity v roce 1953. Prvních deset let byla jeho působištěm synoptická a letecká meteorologie na letišti v Ruzyni, od roku 1963 do roku 1980 působil ve funkci vedoucího oddělení klimatologie. Po organizačních změnách v ČHMÚ v roce 1980 byl jmenován do čela mnohooborového útvaru – odboru režimových informací úseku vědy a výzkumu, do kterého byly včleněny režimové informace z meteorologie, hydrologie i čistoty ovzduší. Jako vedoucí tohoto útvaru pracoval téměř až do svého odchodu do důchodu (v roce 1990), kdy došlo v ČHMÚ k návratu k oborovému uspořádání ústavu.

RNDr. Otto Šebek byl všestranně vzdělaným mužem s hlubokými znalostmi nejen ze svého oboru a příbuzných přírodovědných oborů, ale i ze společenských oblastí, např. z historie. Vyjadřovací schopnosti i smysl pro popularizaci jej předurčily k uplatnění těchto znalostí. Již v roce 1962 vydal knížku Co nevíte o meteorologii (spoluautor S. Černava), jako vedoucí kolektivu řídil práci na přípravě tabulkové části zásadní publikace Atlas podnebí Československé republiky (1958), podílel se na přípravě publikace Podnebí a vodní režim ČSSR (1984). Kromě toho publikoval několik desítek článků v odborném tisku a další desítky popularizačních příspěvků v novinách a časopisech. Participoval na zpracování celé řady výzkumných zpráv, klimatologických studií a speciálních posudků pro potřeby různých rezortů. V redakční radě časopisu Meteorologické zprávy působil od roku 1963 celých 26 let, z toho v letech 1983–1989 ve funkci vedoucího redaktora.

Česká hydrometeorologická služba v plné míře mohla využívat i jazykových znalostí O. Šebka. Mnohokrát zastupoval službu na mezinárodních konferencích, připravoval pracovní dokumenty, vystupoval na seminářích. Více než dvacet let byl členem Komise pro klimatologii Světové meteorologické organizace.

V posledních letech, které trávil ve svém domku v Kralupech nad Vltavou, byl značně zdravotně hendikepován a i psaní mu působilo obtíže. Přesto nikdy nezapomněl blahopřát k Vánocům. Poslední pohled jsme dostali 16. prosince 2000. Je na něm šest kreslených obrázků s tematikou Vánoce: *Co jsou Vánoce? Stříbrné rampouchy za oknem. Vanilkové rohlíčky a cukroví... Padající sněhové vločky. Příjemný večer u krbu...* A na posledním obrázku: *A sánkování na zasněženém svahu je nakreslen chlapec, sáně a hvězdičky na obloze...* Otto, přejeme Ti ten nejkrásnější pobyt, vánoční přání nám budou chybět!

Literatura

- [1] Hladný, J.: RNDr. Otto Šebek šedesátníkem. Meteorol. Zpr., **39**, 1986, č. 3, s. 92–96.

Zdeněk Horký



EDIČNÍ PLÁN NAKLADATELSTVÍ ČHMÚ NA ROK 2001

EDICE

TITUL

Sborník prací

sv. 50

K. Krška – V. Vlasák: Sto let státní hydrometeorologické služby na Moravě.

sv. 51

M. Boháč – B. Kulasová – P. Šercl: Metody odvozování extrémních povodní.

sv. 52

I. Dostál – T. Řehánek – O. Tausberik: Povodeň na řece Moravě v létě 1997.

Práce a studie

seš. 28

L. Budík: Statistické zpracování průtokových vln v pozorovaných profilech jižní Moravy.

seš. 29

R. Tolasz: Chování extrémů v klimatologických časových řadách.

seš. 30

D. Michková a kol.: Hodnocení monitoringu jakosti vod na území ČR za období 1990–1999.

seš. 31

M. Kohut: Problematika určení evapotranspirace ze standardních povrchů (algoritmy výpočtů podle modelů AVISO).

Mimo ediční řady

J. Šantroch a kol.: Přízemní ozon.

M. Váňa a kol.: Quality of the natural environment in the Czech Republic.

K. Vaníček: 50 let Solární a ozonové observatoře Hradec Králové.

Seriálové publikace

Výroční zpráva ČHMÚ 2000.

Hydrologická ročenka ČR 2000.

Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2000.

Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2000. (Grafická ročenka.)

Národní klimatický program

sv. 30

V. Květoň: Teplota vzduchu na území České republiky v období 1961–1990.



NABÍDKA NOVÉ PUBLIKACE ČHMÚ

Český hydrometeorologický ústav vydal jako 28. svazek v edici Práce a studie publikaci

STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ MĚSÍČNÍCH A ROČNÍCH SRÁŽKOVÝCH A ODTOKOVÝCH CHARAKTERISTIK POVODÍ ŘEKY MORAVY

Autoři Ladislav Budík a Marie Budíková.

Studie se zabývá analýzami změn odtoků a srážek. Zkoumá hydrologický režim a vztah mezi srážkami a odtoky. Nejprve jsou srážky a odtoky podrobeny analýze odděleně a posléze jsou zkoumány společně změny srážkoodtokového vztahu s ohledem na pravděpodobnou zpětnou vazbu v soustavě srážka – odtok. V práci je též popsána metoda umožňující získání průměrné reálné výtokové křivky povodí, přičemž dochází k poměrně dosti důsledné eliminaci vlivu srážek na tvar této křivky.

Studie se rovněž věnuje porovnání tzv. zpožděných odtoků a odtoků bezprostřední odezvy i jejich změnám ve zkoumaných povodích.

Publikace je rozdělena do osmi kapitol:

- Úvod (výběr hydrologických dat, srážky)
- Přehled některých měsíčních a sezonních hydrologických charakteristik povodí zpracovávaných měsíčním krokem
- Samostatné zpracování srážek a průtoků
- Součtová čára měsíční srážka – měsíční průtok (odtok)
- Shluková analýza
- Rozklad odtoku vodotečemi
- Syntéza z analýz srážkoodtokového vztahu a analýz na odtoků ve vybraných povodích
- Závěr.

123 stran včetně 23 tabulek a 192 obrázků. Cena 200,- Kč.

Publikaci můžete objednat na adrese:

Český hydrometeorologický ústav, SIS, P. Jiráková, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany.

Telefon/fax: 0/44032721, e-mail: jiratova@chmi.cz.

Na objednávce uvádějte svoje IČO.



OBJEDNÁVKA PŘEDPLATNÉHO NA ROK 2001

Vážení čtenáři,

časopis Meteorologické zprávy v roce 2001 vychází v nezměněné podobě, tzn. šestkrát ročně v rozsahu 32 stran. Vydavatelem je Český hydrometeorologický ústav.

Distribuci časopisu v České republice i v zahraničí zajišťuje Český hydrometeorologický ústav, SIS, P. Jirátová, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany.

Předplatné bude v roce 2001 činit 180,- Kč na rok včetně poštovného.

Žádáme vás o vyplnění připojeného lístku s objednávkou a o jeho zaslání na adresu distribuce.

Na základě Vaší objednávky vám bude zaslána složenka na úhradu předplatného.

Děkujeme vám za zájem o náš časopis.

Redakce

OBJEDNÁVKA

Pro rok 2001 objednávám(e):

..... výtisků časopisu Meteorologické zprávy
Jméno, organizace (včetně IČO)
Adresa, PSČ
Datum, podpis (u organizace razítko)



NABÍDKA NOVÉ PUBLIKACE ČHMÚ

Český hydrometeorologický ústav vydal jako 28. svazek v edici Práce a studie publikaci

STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ MĚSÍČNÍCH A ROČNÍCH SRÁŽKOVÝCH A ODTOKOVÝCH CHARAKTERISTIK POVODÍ ŘEKY MORAVY

Autoři Ladislav Budík a Marie Budíková.

Studie se zabývá analýzami změn odtoků a srážek. Zkoumá hydrologický režim a vztah mezi srážkami a odtoky. Nejprve jsou srážky a odtoky podrobeny analýze odděleně a posléze jsou zkoumány společně změny srážkoodtokového vztahu s ohledem na pravděpodobnou zpětnou vazbu v soustavě srážka – odtok. V práci je též popsána metoda umožňující získání průměrné reálné výtokové křivky povodí, přičemž dochází k poměrně dosti důsledné eliminaci vlivu srážek na tvar této křivky.

Studie se rovněž věnuje porovnání tzv. zpožděných odtoků a odtoků bezprostřední odezvy i jejich změnám ve zkoumaných povodích.

Publikace je rozdělena do osmi kapitol:

- Úvod (výběr hydrologických dat, srážky)
- Přehled některých měsíčních a sezonních hydrologických charakteristik povodí zpracovávaných měsíčním krokem
- Samostatné zpracování srážek a průtoků
- Součtová čára měsíční srážka – měsíční průtok (odtok)
- Shluková analýza
- Rozklad odtoku vodotečemi
- Syntéza z analýz srážkoodtokového vztahu a analýz na odtoků ve vybraných povodích
- Závěr.

123 stran včetně 23 tabulek a 192 obrázků. Cena 200,- Kč.

Publikaci můžete objednat na adrese:

Český hydrometeorologický ústav, SIS, P. Jirátová, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany.

Telefon/fax: 0/44032721, e-mail: jiratova@chmi.cz.

Na objednávce uvádějte svoje IČO.