



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

<i>Radmila Brožková – Antonín Bučánek – Ján Mašek – Petra Smolíková – Alena Trojáková: Nová provozní konfigurace modelu ALADIN ve vysokém rozlišení</i>	<i>129</i>
<i>Petr Zacharov – Daniela Řezáčová – Radmila Brožková: Verifikace kvantitativní předpovědi srážek produkované modelem ALADIN-CZ</i>	<i>140</i>
<i>Ondřej Lhotka – Jan Kyselý: Vlny veder ve střední Evropě – přehled současných poznatků</i>	<i>152</i>

<i>Radmila Brožková – Antonín Bučánek – Ján Mašek – Petra Smolíková – Alena Trojáková:</i> New high-resolution operational configuration of the ALADIN model	129
<i>Petr Zacharov – Daniela Řezáčová – Radmila Brožková:</i> The verification of the QPF produced by ALADIN-CZ model	140
<i>Ondřej Lhotka – Jan Kyselý:</i> Heat waves over Central Europe – overview of current knowledge	152

Abstracting and Indexing:

- Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Meteorologické zprávy, odborný recenzovaný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, kvalitu ovzduší a hydrologii. Dvoutměsíčník

Meteorological Bulletin, reviewed journal specialized in meteorology, climatology, air quality and hydrology. Bi-monthly

Vedoucí redaktor – Chief Editor

R. Tolasz, Český hydrometeorologický ústav, Ostrava, Česká republika

Redaktor – Assistant Editor

H. Stehlíková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

R. Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

R. Čekal, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Z. Horký, Praha, Česká republika

F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika

I. Hůnová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

P. Huszár, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

M. Kučerová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

K. Krška, Brno, Česká republika

M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

F. Neuwirth, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria

L. Němec, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

V. Pastirčák, Bratislava, Slovenská republika

D. Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika

M. Setvák, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

J. Strachota, Praha, Česká republika

J. Sulan, Český hydrometeorologický ústav, Plzeň, Česká republika

F. Šopko, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

A. Vizina, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, Česká republika

H. Vondráčková, Praha, Česká republika

V. Voženílek, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

Vydavatel (redakce) – Publishers

● Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, telefon 244 032 722, 244 032 725, e-mail: mz@chmi.cz. Sazba a tisk: Ing. Jiří Šilar DTP. Rozšiřuje Český hydrometeorologický ústav, tiskové a informační oddělení, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, nakladatelstvi@chmi.cz. Registrační číslo MK ČR E 5107.

© Meteorologické zprávy, Český hydrometeorologický ústav

● Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Phones: (+420) 244 032 722, (+420) 244 032 725, e-mail: mz@chmi.cz. Printed in the Ing. Jiří Šilar DTP. Orders: Please contact Czech Hydrometeorological Institute, Press and Information Department, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic, nakladatelstvi@chmi.cz.

● ISSN 0026-1173

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

Meteorological Bulletin

ROČNÍK 72 (2019)

V PRAZE DNE 30. ŘÍJNA 2019

ČÍSLO 5

NOVÁ PROVOZNÍ KONFIGURACE MODELU ALADIN VE VYSOKÉM ROZLIŠENÍ

Radmila Brožková, Antonín Bučánek, Ján Mašek, Petra Smolíková, Alena Trojáková,
Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06, Praha 4-Komořany, radmila.brozkova@chmi.cz,
antonin.bucanek@chmi.cz, jan.masek@chmi.cz, petra.smolikova@chmi.cz, alena.trojakova@chmi.cz

New high-resolution operational configuration of the ALADIN model. We present an overview on how the ALADIN model version, operated by the Czech Hydrometeorological Institute, has been upgraded to the convection permitting resolution of 2.325 km together with the implementation of the non-hydrostatic, fully elastic dynamical core. We shortly describe all the necessary steps of the upgrade starting with the domain definition adaptations including relevant topographic characteristics and going through the new settings of the forecasting model including the dynamical core and physics' parametrizations. We also mention changes in the data assimilation algorithms. Finally, we discuss results of the new model version in comparison with the previous operational model version at the resolution of 4.711 km, and we show some new model outputs linked to the high resolution like the simulated radar reflectivity. Main directions of future research and model developments are given at the end.

KLÍČOVÁ SLOVA: předpověď počasí numerická – model ALADIN – rozlišení měřítek konvekce – dynamické jádro nehydrostatické – parametrizace – asimilace dat – statistická skóre modelu

KEYWORDS: numerical weather prediction – ALADIN model – convection permitting scales – non-hydrostatic dynamical core – parametrizations – data assimilation – statistical model scores

1. ÚVOD

Od března 2019 přešla hlavní provozní aplikace modelu ALADIN¹⁾ v ČHMÚ na novou verzi, jejímiž dvěma hlavními charakteristikami je zvýšení horizontálního rozlišení ze 4,711 km na 2,325 km a použití nehydrostatického dynamického jádra. Model nyní explicitně popisuje jemnější cirkulační útvary, přičemž využívá komplexnější soustavu rovnic popisujících dynamiku a termodynamiku atmosféry. S tím jsou spojené vyšší výpočetní nároky, které si můžeme v reálném provozu dovolit pouze díky novému superpočítači instalovanému v květnu 2018.

V tomto článku stručně popisujeme přehled parametrů nové provozní verze modelu ALADIN v ČHMÚ, včetně kroků vedoucích k její implementaci. ČHMÚ vyvíjí numerický předpovědní systém ALADIN (Termonia et al. 2018) v rámci mezinárodních konsorcií ALADIN a RC LACE (Wang et al. 2018). ALADIN původně vznikl jako regionální verze globálního modelu ARPEGE Météo-France. V současné době obsahuje tzv. kanonické modelové konfigurace (Termonia et al. 2018), které se od sebe liší fyzikálními parametrizacemi. V ČHMÚ jsme i pro další provoz vybrali kanonickou modelovou konfiguraci ALARO, na jejímž vývoji se dlouhodobě podílíme a která je koncipována pro využití v širokém pásmu horizontálních rozlišení od desítek kilometrů po stovky metrů.

Článek je rozdělen do sekcí, které odpovídají chronologickému postupu přípravy nové verze provozního modelu. V následující druhé sekci popisujeme charakteristiky nové výpočetní oblasti, která musela být definována nejdříve. Třetí sekce představuje zavedení nehydrostatického dynamického jádra a nastavení schématu horizontální difuze ve vysokém rozlišení. Soubor fyzikálních parametrizací, který tvoří kanonickou modelovou konfiguraci ALARO, je uveden ve čtvrté sekci. Zde jsou rozebrány nové úpravy a nastavení u těch schémat, kde to bylo v souvislosti se zvýšením horizontálního rozlišení potřeba. V páté sekci se věnujeme algoritmům asimilačního cyklu, kde se úpravy parametrů týkaly především atmosférické části. Příklady výsledků pro vybraná zimní a letní testovací období ve srovnání s referenční provozní verzí modelu jsou v šesté sekci, včetně ukávek nových výstupů z modelu. Závěrečné shrnutí a hlavní směry dalšího vývoje provozní verze modelu jsou obsahem poslední sedmé sekce.

2. VÝPOČETNÍ OBLAST A TOPOGRAFICKÁ DATA

Zvýšení horizontálního rozlišení si vyžádalo novou definici výpočetní oblasti, tj. její zeměpisné polohy a počtu bodů. Základní požadavky bylo zachovat rozlohu oblasti a zároveň zvýšit horizontální rozlišení na dvojnásobek vůči stávající konfiguraci. Dalším faktorem je skutečnost, že ALADIN je spektrální model a pro projekci mezi prostorem uzlových bodů a prostorem spektrálních koeficientů využívá algoritmu rych-

¹⁾ Akronym *Aire Limitée Adaptation Dynamique développement International*

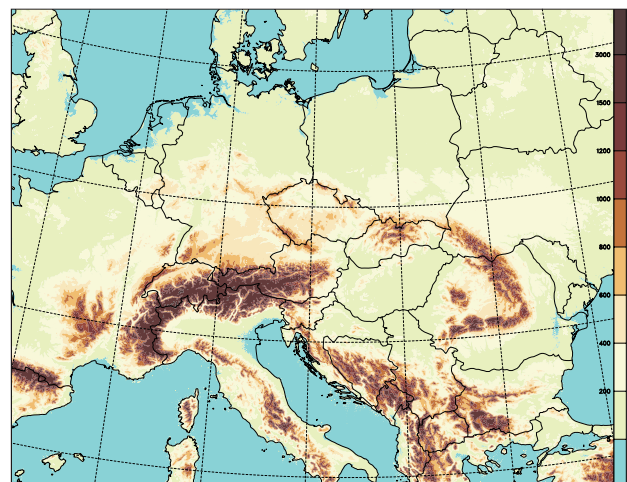
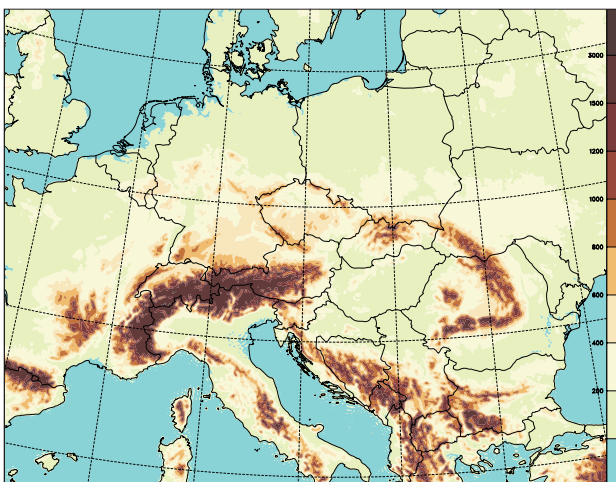
lé Fourierovy transformace (z angl. Fast Fourier Transform, zkratka FFT, viz Temperton (1992)). Implementace tohoto algoritmu vyžaduje, aby byl počet uzlových bodů ve tvaru $2^p 3^q 5^r$, kde p , q a r jsou nezáporná celá čísla. Z výše uvedených požadavků vyplynulo horizontální rozlišení modelu 2,325 km, přičemž kroky sítě jsou stejné v obou směrech: $\Delta x = \Delta y$. Izotropní rozlišení se vztahuje k rovině mapy, kdy v našem případě využíváme konformní Lambertovu projekci tečnou ve středu oblasti. Tato volba se vyznačuje malým délkojevným zkreslením v mírných šířkách, viz např. Bařka (2004). Vlastní výpočetní oblast je popsána 1 069 body podél osy x a 853 body podél osy y , z nichž pás o šířce $16\Delta x$ tvoří u vnějších okrajů zónu párování s globálním modelem. V předchozí verzi byl tento pás široký $8\Delta x$. V novém rozlišení jsme se rozhodli zachovat fyzický rozměr zóny párování zdvojnásobením počtu kroků sítě. V obou směrech je navíc přidána matematická zóna šířky $11\Delta x$ sloužící k dosažení bi-periodicity polí, která je obecně vyžadována pro aplikaci bi-Fourierovy transformace. Výsledná síť má tudíž $1\,080 \times 864$ bodů a vyhovuje podmínce pro využití našeho algoritmu FFT. Počet vertikálních hladin zůstává 87 s nejnižší hladinou přibližně 10 m nad terénem a nejvyšší hladinou přibližně kopírující izobarickou hladinu 50 Pa (cca 50 km).

Pro každý bod sítě byly následně určeny topografické a další fyziografické charakteristiky. Výška orografie byla určena jako střední hodnota z údajů databáze GMTED2010 (Global Multi-Resolution Terrain Elevation Data, U. S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/>) s rozlišením 7,5“. Orografie modelu je následně ve spektrálním rozvoji oříznuta tak, aby měla nejkratší vlnovou délku $3\Delta x$. Tím se předchází numerickým problémům stacionárního silového účinku orografie o vlnové délce $2\Delta x$. Výsledné pole orografie na nové výpočetní oblasti je znázorněno na obr. 1 spolu s orografií předchozí oblasti v rozlišení 4,711 km pro srovnání. Pole orografie a jeho derivace vstupují do výpočtů dynamiky modelu. Stále ale existují menší orografické překážky, které nejsou rozlišené, a jejichž dynamický účinek je potřeba parametrizovat. Proto se určují další topografické charakteristiky, kterými jsou variance, anisotropie a orientace nerozlišené orografie a také orografická drsnost. Protože výpočet těchto polí vyžaduje určení tenzorových veličin, které ještě nebyly připraveny se vstupy z GMTED2010, jsou tato pole prozatím určena ze starší topografické databáze GTOPO30 s rozlišením 30“.

3. DYNAMICKÉ JÁDRO

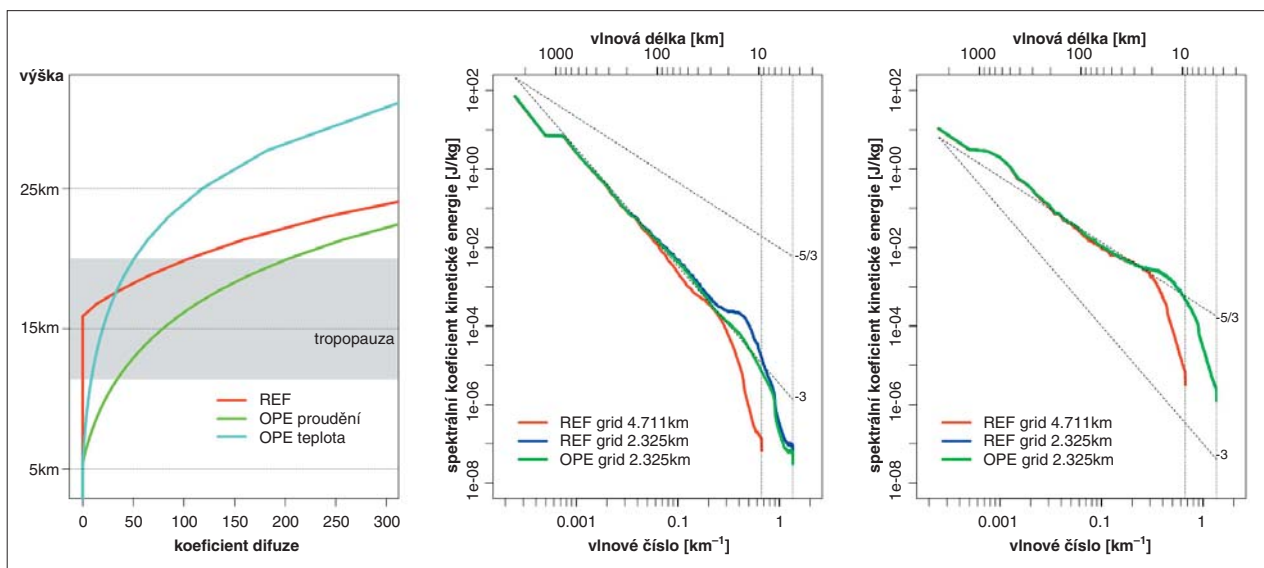
Při přechodu z horizontálního rozlišení 4,711 km na rozlišení 2,325 km jsme překonali pomyslnou hranici pro smysluplnou aplikaci předpokladu, že se atmosféra nachází v hydrostatické rovnováze. Horizontální měřítko nejmenších rozlišených jevů je nyní srovnatelné s jejich vertikálním měřítkem daným charakteristickou hloubkou atmosféry. Protože typicky konvekce je nehydrostatický jev, jsou tato měřítka v anglické literatuře často označována jako tzv. *convection permitting scales*. Opuštění hypotézy hydrostatické rovnováhy je v modelu realizováno změnou systému základních rovnic z HPE (Hydrostatic Primitive Equations) na NHE (NonHydrostatic Euler equations), které nově popisují atmosféru jako plně stlačitelnou. Taková změna není jednoduchá, protože nalézt stabilní a dostatečně přesné řešení systému rovnic NHE je podstatně složitější než pro jednodušší HPE systém, zvláště při požadavku srovnatelné délky časového kroku. První práce na nehydrostatické verzi modelu započaly roku 1993. Byla to premiéra realizace systému rovnic s vertikální souřadnicí založenou na tzv. hydrostatickém tlaku, využívající semi-implicitní, tři hladinové časové schéma s tehdy ještě Eulerovskou advekcí, viz Bubnová et al. (1995). Prototyp NHE byl během následných let zdokonalován. Z hlediska lepší kontroly numerické stability došlo k vhodnější volbě dvou nových modelových proměnných, které reprezentují vertikální složku rychlosti proudění a odchylku reálného tlaku od jeho hydrostatické aproximace. Spolu s tím byla zavedena možnost iterace časového schématu. Použitá metoda nese název *iterativní centrovaná implicitní metoda* (ICI), viz Bénard (2003). Jejím využitím dosáhneme relativně dlouhých časových kroků, které by bez ní byly nemyšlitelné. Obvykle stačí použít jednu iteraci k významnému zvýšení stability. Početní nároky kvůli iteraci sice stoupnou, ale výhoda dlouhého časového kroku převažuje. Se zahrnutím dvou nových prognostických rovnic potřebujeme pro plně elastický nehydrostatický model asi 1,5násobek výpočetního času nutného pro model s hydrostatickou aproximací při zachování horizontálního i vertikálního rozlišení a délky časového kroku. Komplexní popis současné formulace nehydrostatické verze modelu ALADIN čtenář najde v Bénard et al. (2010).

Pro advekcí je používáno semi-Lagrangeovské schéma, kde se trajektorie počítají iterativně pomocí metody druhého řádu přesnosti SETTLS (Stable Extrapolation Two-Time-



Obr. 1 Orografie výpočetní oblasti modelu ALADIN v rozlišení 4,711 km (vlevo) a 2,325 km (vpravo).

Fig. 1. Orography of the ALADIN model computational domain at the resolution of 4,711 km (left) and 2,325 km (right).



Obr. 2 Vertikální profil difuzního koeficientu pro spektrální difuzi (panel vlevo), spektrum kinetické energie v závislosti na vlnovém čísle pro horní část atmosféry (panel uprostřed – průměr pro výškové hladiny 5 až 50 km; panel vpravo – průměr pro výškové hladiny 0 až 5 km, modrá a zelená křivka se zde překrývají). REF = nastavení difuze použité v operativní aplikaci s horizontálním rozlišením 4,711 km, OPE = nové nastavení difuze použité v operativní aplikaci s horizontálním rozlišením 2,325 km. Přerušované čáry ukazují v atmosféře pozorované lineární závislosti podle Nastroma a Gage (1985).

Fig. 2. Vertical profile of spectral diffusion coefficient (left); kinetic energy spectrum as a function of wave number for upper atmosphere (middle – average for height levels from 5 to 50 km; right – average for height levels from 0 to 5 km, blue and green curves are overlapping here). REF = diffusion setting used in the operational application with the horizontal resolution of 4.711 km, OPE = new diffusion setting used in the operational application with the horizontal resolution of 2.325 km. Dashed lines mark linear dependencies observed in the atmosphere following Nastrom and Gage (1985).

Level Scheme, Hortal 2002). Při zvýšení rozlišení bylo nutné zvýšit počet iterací ve schématu advekce z původně dvou na čtyři, zejména kvůli strmější orografii. Naštěstí tento výpočet není náročný na strojový čas. Trajektorie pro schéma advekce, numerická difuze, ale také fyzikální parametrizace se během časového kroku počítají pouze jednou, poté se ukládají, a v následné iteraci časového schématu jsou pouze načteny. Naopak semi-implicitní schéma, interpolace nutné pro schéma advekce a transformace polí mezi prostorem uzlových bodů a spektrálními koeficienty je nutné provést ve všech iteracích metody ICI. Kromě popsanych změn došlo také ke změně vertikální diskretizace. Pro nehydrostatický model upouštíme od metody konečných prvků (Untch, Hortal 2004) a uplatňujeme jednodušší metodu konečných diferencí. Varianta metody konečných prvků pro rovnice NHE byla sice již odvozena, viz Vivoda et al. (2018), ale ještě není plně připravena pro provozní využití.

V neposlední řadě bylo nutné přeladit horizontální difuzi. Ta v modelu slouží k odstranění šumu krátkých vlnových délek, který vzniká jako důsledek nedokonalosti numerického řešení meteorologických rovnic. Navíc konečná reprezentace meteorologických veličin neumožňuje přesný popis nejkratších vln, jejichž další interakce přenáší energii směrem k delším vlnám a znehodnocuje řešení. Horizontální difuze umožňuje potlačit tyto krátké vlny selektivně v závislosti na horizontálním rozlišení modelu. Pro model ALADIN bylo k tomuto účelu vyvinuto originální schéma SLHD (Semi-Lagrangian Horizontal Diffusion, Vaňa et al. 2008), které je kombinací lineární spektrální difuze účinkující přímo na spektrální koeficienty polí a nelineární lokální difuze využívající interpolační charakteristiky semi-Lagrangeovské advekce. Spektrální difuze se aplikuje explicitně na všechny dynamické modelové proměnné ve vysoké atmosféře, zatímco nelineární difuze se aplikuje v celé hloubce atmosféry jak

na dynamické proměnné, tak na pole měrné vlhkosti a na další vybraná pole definovaná pouze v prostoru uzlových bodů, jako jsou pole oblačné vody a ledu, turbulentní kinetické energie, atd. Na obr. 2 je spektrum kinetické energie v závislosti na vlnovém čísle, které ukazuje, jak nedostatek disipace ve vysoké troposféře způsobuje akumulaci energie ve vyšších vlnových číslech (modrá křivka na prostředním panelu). To se projeví jako šum v polích modelových proměnných. K jeho odstranění jsme museli aplikovat spektrální difuzi v širší vrstvě atmosféry začínající u stropu modelu a končící v horní troposféře. Navíc bylo nutné ladit spektrální difuzi odděleně pro teplotu a pro proměnné charakterizující proudění vzduchu (vorticity a divergence). Jako výsledek všech výše zmíněných úprav se nám podařilo získat nastavení, které umožňuje použít časový krok 90 s spolu s jednou iterací časového schématu ICI. Podrobnosti jsou uvedeny v technickém dokumentu ČHMÚ (Smolíková 2019).

4. PARAMETRIZACE FYZIKÁLNÍCH PROCESŮ

Zvýšení horizontálního rozlišení modelu posunuje spektrum explicitně popsanych měřitek cirkulace směrem k jemnějším strukturám. To je podpořeno detailnější informací o charakteristikách povrchu, zejména orografie. Z tohoto důvodu je obecně potřeba revidovat použití nebo adaptaci parametrů u těch schémat, kde je proces již explicitně popsán, anebo kde se mění vstupy v podobě například ještě nerozlišené orografie a dalších fyziografických dat. Dále je nutné vzít v úvahu ta schémata, v nichž není adekvátně zohledněn tzv. multi-měřítkový aspekt, tedy adaptace na změnu horizontálního rozlišení. V úvodu jsme zmínili využití kanonické modelové konfigurace ALARO. Jejím silným koncepčním prvkem je definice systému řídicích rovnic pro tzv. fyziku modelu (tj. turbulenci, záření, oblačnost, srážkové procesy, atd.), podobně jako jsou definovány řídicí rovnice dynamického jádra. Tento systém,

ve kterém je přijat konkrétní soubor hypotéz, je respektován všemi schémata, která dané procesy parametrizují nebo explicitně modelují, a tak zajišťuje jejich konzistenci. Je pro něj formulován konzervativní interface s dynamickým jádrem modelu (Cтры et al. 2007). Hlavní atmosférická schémata se opírají o nedávné teoretické poznatky, které jsou kombinovány s výše zmíněným principem konsistence a s efektivním numerickým řešením. Schéma turbulence a mělké konvekce TOUCANS využívá dvou prognostických turbulentních energií a nové formulace výpočtu Brunt-Väisälövy frekvence (Bašták Ďurán et al. 2014; 2018). Přesnější parametrizace radičního přenosu ACRANEB2 umožňuje počítat interakci s oblačností v každém časovém kroku modelu bez neúměrných požadavků na výpočetní čas (Mašek et al. 2016; Geleyn et al. 2017). Samotná parametrizace oblačnosti vstupující do schématu záření vychází z práce Xu a Randall (1996). Schéma hluboké konvekce 3MT (Gerard et al. 2009) je koncipováno jako multi-měřítkové, a lze ho použít i tehdy, kdy je hluboká konvekce pouze částečně rozlišena, což platí i pro horizontální rozlišení 2,325 km. Dodejme, že hranice, od které není třeba parametrizaci hluboké konvekce používat, není přesně dána, a že v konkrétních případech podléhá pragmatickému rozhodnutí pro rozlišení v rozmezí přibližně od 2,5 km do 1 km. Schéma účinků nerozlišené orografie je popsáno v Cтры et al. (2008). Procesy zemského povrchu a jeho interakce s atmosférou řeší schéma ISBA (Noilhan a Planton 1989; Noilhan a Mahfouf 1996). V dalším krátce shrneme změny v parametrizacích modelu, které si přechod na horizontální rozlišení 2,325 km vyžádá.

4.1 Parametrizace účinků nerozlišené orografie

Schéma účinků nerozlišené orografie zahrnuje: (i) vznik tzv. gravitačních vln a depozici jejich hybnosti s výškou; (ii) účinky obtékání, které závisí na tvaru překážky; (iii) laterální účinek objemu nerozlišené orografie, který je simulován proporcionálním zvýšením Coriolisova efektu. Tyto parametrizace pracují se sub-měřítkovými topografickými veličinami – variancí, anizotropií a orientací nerozlišené orografie ve výpočetní buňce. Se zvyšujícím se rozlišením modelu se automaticky snižuje sub-měřítková variance orografie a schéma účinkuje méně, až při dostatečně vysokém rozlišení není potřeba. Z nerozlišených topografických polí pak zbyde pouze tzv. orografická drsnost generující turbulenci. Přesná hranice rozlišení, od kterého již není třeba schéma používat, není teoreticky určena. Diskuse v Cтры et al. (2008) zmiňuje, že

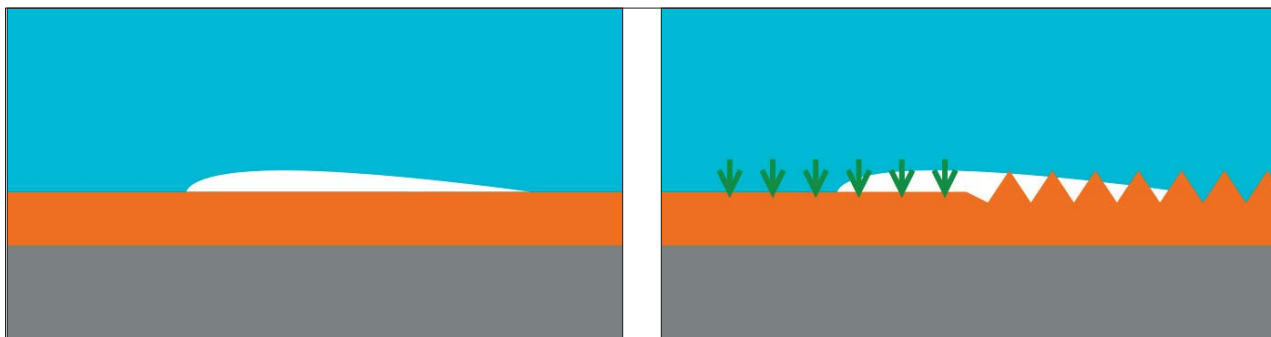
bychom se mohli bez této parametrizace obejít při horizontálních rozlišeních vyšších než přibližně 4 až 3 km. Z tohoto důvodu jsme v novém rozlišení 2,325 km započali testy modelu bez ní. Obdržené výsledky však ukázaly, že efekt parametrizace na bilanci hybnosti nebyl zcela kompenzován explicitní dynamikou modelu. Navíc se zvýšil příspěvek turbulence, který by měl odrážet vliv spíše lokálních překážek a ve srovnání s orografickým příspěvkem by měl být mnohem nižší. Rovněž skóre parametrů v mezní vrstvě a při zemi potvrdila nedostatečnou kompenzaci. Bez parametrizace jsme se tedy nemohli úplně obejít, nicméně dva klíčové parametry schématu musely být přeladěny v závislosti na statistických skóre modelu. Tím je koeficient určující lineární část schématu, který je nově nastaven na $\kappa = 0,005$ místo 0,02 a koeficient navýšení Coriolisova efektu s hodnotou $L_t = 0,5$ místo 1. Nutno poznamenat, že uvedené přeladění vede k nižší aktivitě schématu. Vzhledem k tomu, že pod-měřítkové topografické vstupy byly získány ještě ze starší databáze GTOPO30, je třeba považovat toto nové nastavení za empirický kompromis.

4.2 Nová specifikace drsnosti povrchu

Turbulentní toky v přizemní vrstvě atmosféry jsou parametrizovány pomocí koeficientu odporu C_D a tepelného koeficientu C_H , přičemž tepelný koeficient se používá i pro vlhkost. Koeficienty závisí na stabilitě atmosféry a na drsnosti povrchu. Při neutrálním zvrstvení se jejich výpočet redukuje na tvar:

$$C_D = \frac{k^2}{\ln^2\left(1 + \frac{Z}{z_{0D}}\right)}, C_H = C_3 \frac{k^2}{\ln\left(1 + \frac{Z}{z_{0D}}\right) \ln\left(1 + \frac{Z}{z_{0H}}\right)} \quad (1)$$

kde $k = 0,4$ je von Kármánova konstanta, $C_3 = 1,183$ je inverzní turbulentní Prandtlovo číslo v neutralitě, Z je výška spodní modelové hladiny, z_{0D} je dynamická a z_{0H} je tepelná drsnost povrchu. V modelu s horizontálním krokem 2,325 km musí drsnost povrchu kromě mikrometeorologické složky popisující nerovnosti jako je textura půdy, vegetace nebo městská zástavba, stále obsahovat i příspěvek nerozlišené orografie. *Mikrometeorologická* hodnota z_{0D} je proto v rovnici (1) nahrazena vyšší tak zvanou *efektivní* hodnotou. Původní parametrizace zvyšovala i tepelnou drsnost z_{0H} . To nebylo v souladu s prací Hewer a Wood (1998), podle které nerozlišená orografie s malým sklonem neovlivňuje turbulentní výměnu tepla a vlhkosti. Tepelná drsnost by proto měla být v rovnici (1) snížena tak, aby kompenzovala zvýšenou dynamickou



Obr. 3 Vliv drsnosti povrchu na rozložení sněhu. Při daném množství sněhu ve výpočetní buňce modelu je jeho plošná rozloha nad hladkým povrchem větší (levý panel) než nad drsným povrchem (pravý panel). Efekt je nejvýraznější, když výška sněhové pokrývky je srovnatelná s typickým rozměrem prvků drsnosti, jako jsou půdní nerovnosti a nízká vegetace.

Fig. 3. Effect of surface roughness on snow coverage. For a given amount of snow inside the model grid cell the occupied area is greater over smooth surface (left) than over rough surface (right). The effect is the highest when snow cover depth is close to a typical size of roughness elements, such as soil bumps and low vegetation.

drsnost a koeficient C_H by zůstal stejně velký. Kvůli mírně lepším skóre jsme nakonec použili kompromisní přístup, kdy je koeficient C_H vyčíslený pomocí efektivní hodnoty z_{0D} a mikrometeorologické hodnoty z_{0H} . Nerozlišená orografie tak zesiluje turbulentní výměnu tepla a vlhkosti, ale méně než v původní formulaci.

Druhá změna upravuje průměrování drsnosti mezi částí výpočetní buňky se sněhem a bez něj tak, aby sněhová pokrývka neměla vliv na její orografickou složku. V souvislosti s tím jsme také revidovali parametrizaci efektu nerovnosti na procentuální pokrytí výpočetní buňky sněhem (obr. 3), která nově vychází z mikrometeorologické hodnoty drsnosti. Výsledné procento sněhové pokrývky jsme konzistentně použili při určení středních hodnot albeda a emisivity v buňce pro parametrizaci záření.

4.3 Parametrizace oblačnosti pro schéma záření

Schéma záření vyžaduje určení celkové oblačnosti a oblačné vody jako výsledek všech uvažovaných procesů. Oblačná pokrývka N je počítána v každé vrstvě modelu a vyjadřuje horizontální část buňky, kterou oblačnost zaujímá. Mezi oblačností N a oblačnou vodou q_c je použit zjednodušený vztah podle Xu a Randall (1996). K celkové oblačnosti přispívají obecně procesy kondenzace: i) explicitně řešené na úrovni buňky; ii) parametrizované mělkou konvekcí; iii) parametrizované hlubokou konvekcí. Explicitně popsaná kondenzace, též ze zvyklosti označovaná jako stratiformní – N_{str} , vychází ze Xu a Randall (1996) s dalšími úpravami, jako je usnadnění vzniku oblaku při inverzním teplotním profilu, viz Brožková et al. (2006). Oblačnost N_{sc} spojená s tzv. mělkou konvekcí, tj. konvekcí bez vypadávání srážek, je parametrizována velmi jednoduchým algoritmem založeným na posílení oblačnosti pod hranicí teplotní inverze. Počítá se jako vážený integrál možného přebytku vodní páry vůči nasycení z dané hladiny směrem dolů, dokud není dosažen laditelný parametr rozdílu suché statické energie (Gerard 2001). Oblačnost hluboké konvekce N_{cv} je parametrizována ve schématu 3MT (Gerard et al. 2009). Pro získání celkové oblačnosti N je na úrovni buňky aplikován náhodný překryv jednotlivých příspěvků:

$$(1 - N) = (1 - N_{str})(1 - N_{sc})(1 - N_{cv}) \quad (2)$$

Pro výpočet vertikální geometrie oblačné scény ve schématu záření se aplikuje předpoklad tzv. exponenciálně-náhodných překryvů (Hogan, Illingworth 2000). Oblačné vrstvy oddělené jednou nebo více bezoblačnými vrstvami se překrývají náhodně. Na rozdíl od dříve používaného předpokladu tzv. maximálně-náhodných překryvů, kdy se přilehlé oblačné vrstvy překrývaly maximálně, prostorová korelace přilehlých oblačných vrstev teď klesá exponenciálně s vertikální vzdáleností jejich středů. To vede k náhodným překryvům velmi vzdálených oblačných vrstev i v rámci jednoho oblaku, což lépe souhlasí s pozorováními. V nové verzi překryvů jsme navíc zavedli sezónní a zeměpisnou závislost korelační funkce podle Oreopoulos et al. (2012).

Je zřejmé, že výsledná oblačnost závisí na řadě parametrů přispívajících schémat, z toho jsou však klíčové pouze některé. Jedním z nich je tzv. kritická relativní vlhkost, která je menší nebo rovna 100 %. Při jejím dosažení dojde ve výpočetní buňce ke kondenzaci. Kritická relativní vlhkost tak pomáhá simulovat rozložení vlhkosti v buňce. Míra její odchylky od 100 % má výškový profil a je přirozeně závislá na horizontálním rozlišení modelu, kdy s rostoucím rozlišením klesá. Nastavení

kritické relativní vlhkosti částečně vychází z pozorování (Smith 1990), ale dále je dolaďeno empiricky, viz například výraz pro výškový profil v Brožková et al. (2006). Na předchozím rozlišení 4,711 km nebyla uvažována její závislost na velikosti početní buňky, ale při přechodu na vyšší rozlišení 2,325 km se to ukázalo nutným. Profil kritické relativní vlhkosti HU_c nově modulujeme pomocí parametru α následovně:

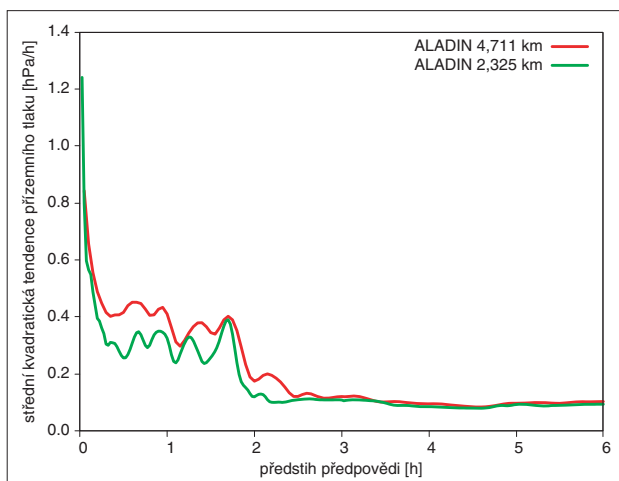
$$HU'_c = \frac{HU_c + \alpha}{1 + \alpha} \quad (3)$$

Při rozlišení 2,325 km je nastavení $\alpha = 0,33$. Výsledkem je úbytek oblačnosti zejména středního patra. Sub-inverzní oblačnost jsme naopak posílili zvýšením parametru rozdílu suché statické energie na dvojnásobek. Dále jsme ustoupili od algoritmu, který výslednou oblačnost vzdaloval od hraničních hodnot 0 % a 100 % použitím tangens-hyperbolicke funkce. Při vyšším rozlišení, kdy se oblačnost přirozeně více přibližuje k hraničním hodnotám (binární chování), již toto není nutné. Výsledkem zmíněných úprav byla podstatná redukce podhodnocování oblačnosti zejména v zimní sezóně.

5. ASIMILAČNÍ CYKLUS

Počáteční podmínky proměnných zemského povrchu a atmosféry jsou i na vyšším horizontálním rozlišení tvořeny 6hodinovým asimilačním cyklem. Analýza parametrů zemského povrchu nevyžadovala speciální ošetření. Nadále je založena na metodě optimální interpolace, která analyzuje pole teploty a relativní vlhkosti ve dvou metrech nad zemí. Inkrementy této analýzy jsou pak promítnuty lineární funkcí na korekce teplot a vodního obsahu půdních vrstev. Koeficienty této funkce závisí na meteorologických podmínkách a fyziografických parametrech zemského povrchu, více detailů je v Giard a Bazile (2000). K analýze atmosférických polí se od roku 2015 používá metoda BlendVar (Bučánek et al. 2015). Jedná se o rozšíření pseudoasimilační metody Digital Filter (DF) Blending (Brožková et al. 2006) o přímou asimilaci pozorování pomocí třídízenční variační techniky 3D-Var. Hlavní motivací tohoto přístupu je zachování velkoměřítkové informace z analýzy globálního modelu a zároveň využití meteorologických pozorování pro vytvoření počátečních podmínek vhodných pro vysoké horizontální rozlišení modelu ALADIN. Při změně rozlišení jsme upravili nastavení metody DF Blending podle empirické formule, viz Derková a Belluš (2007). Nyní jsou vlny kratší než 25 km odstraněny z analýzy globálního modelu ARPEGE a z předběžného odhadu modelu ALADIN před aplikací vysokofrekvenčních digitálních filtrů, které dále redukuje krátkovlnný šum. Rozdíl těchto filtrovaných komponent je poté přidán k původnímu předběžnému odhadu modelu ALADIN. Výsledek DF Blendingu vstupuje do metody 3D-Var, která asimiluje následující meteorologická pozorování: aeorologické sondáže, přízemní pozorování, letecká měření AMDAR a Mode-S, pozorování větru a jasových teplot z geostacionární družice Meteosat 11.

Pro metodu 3D-Var jsme potřebovali připravit novou kovarianční matici chyb předběžného odhadu v novém rozlišení modelu. Ta je velmi důležitá, protože filtruje a propaguje pozorovanou informaci z místa pozorování do jeho okolí (Berre, Desroziers 2010). Přispívá k určení váhy, s jakou bude předběžný odhad opraven vstupujícími pozorováními. Čím větší jsou elementy kovarianční matice chyb, tím větší korekce jsou provedeny v předběžném odhadu. Kovariance určují, jak moc a do jaké horizontální a vertikální vzdálenosti se korekce šíří, včetně dopadu na jiné analyzované prvky, neboť



Obr. 4 Střední kvadratická tendence přízemního tlaku vzduchu (hPa/h) při výpočtu 6hodinového prvního odhadu analýzy v asimilačním cyklu; příklad z 1. 3. 2019 ve 12:00 UTC. Červená a zelená křivka zobrazují vývoj během předpovědi v modelu s rozlišením 4,711 km, respektive 2,325 km.

Fig. 4. Root mean square of surface air pressure tendency (hPa/h) in computing the 6-hour initial estimate in the assimilation cycle, example for 1 March 2019 at 12:00 UTC. Red and green lines show the evolution during the forecast in the model with the resolution of 4,711 km and 2,325 km respectively.

kovariance též podchycují rovnováhy v atmosféře, jako geostrofickou mezi poli hmoty a větru, atd. Kovarianční matici jsme vytvořili dynamickou adaptací asimilačního ansámblu řídicího modelu ARPEGE podle metody popsané v práci Bučánek (2018, s.25), kde čtenář najde další detaily k dané problematice. Na základě série experimentů byl asimilační systém přeladěn, tj. chyba pozorování jasových teplot byla zvýšena faktorem 1,15 a kovarianční matice byla přeškálována koeficientem 0,25. Dvě nové prognostické proměnné nehydrostatického dynamického jádra (vertikální složka rychlosti a odchylka tlaku od hydrostaticky rovnovážného stavu) nejsou součástí tzv. kontrolního vektoru 3D-Var. Stav těchto proměnných je v analýze převzat z předběžného odhadu, což je optimální způsob jak předejít větším nerovnováhám v počátečních podmínkách a tzv. spin-up efektu při následné integraci. Spin-up efekt jsme v asimilačním cyklu vyhodnotili pomocí tendencí přízemního tlaku a ověřili jsme, že je v nové nehydrostatické verzi modelu nižší, viz obr. 4.

6. TESTY A VÝSLEDKY

Jak vyplývá z předchozího, jednotlivé komponenty modelu ve vysokém rozlišení jsme postupně testovali a validovali vzhledem k původnímu rozlišení 4,711 km. Jako validační období jsme vybrali pro zimní sezónu leden až začátek února 2017, a dále leden až únor 2019, kdy v tomto druhém zimním období byl již spuštěn paralelní test. Pro letní sezónu jsme vybrali květen až začátek června 2018 a také konec června až začátek července 2009 vzhledem k výjimečné aktivitě hluboké konvekce. Model jsme testovali nejdříve v tzv. dynamické adaptaci, tj. počáteční podmínka byla interpolována z analýz globálního modelu ARPEGE. Dále jsme přešli na experimenty s asimilačním cyklem zahrnujícím analýzu zemského povrchu a DF Blending atmosférických proměnných. Konečně poslední přípravnou etapou byly testy úplné konfigurace modelu včetně asimilačního cyklu BlendVar. Před zavedením každé nové verze modelu do provozu se provádí výše zmíněný paralelní test. Při něm se úlohy spouštějí

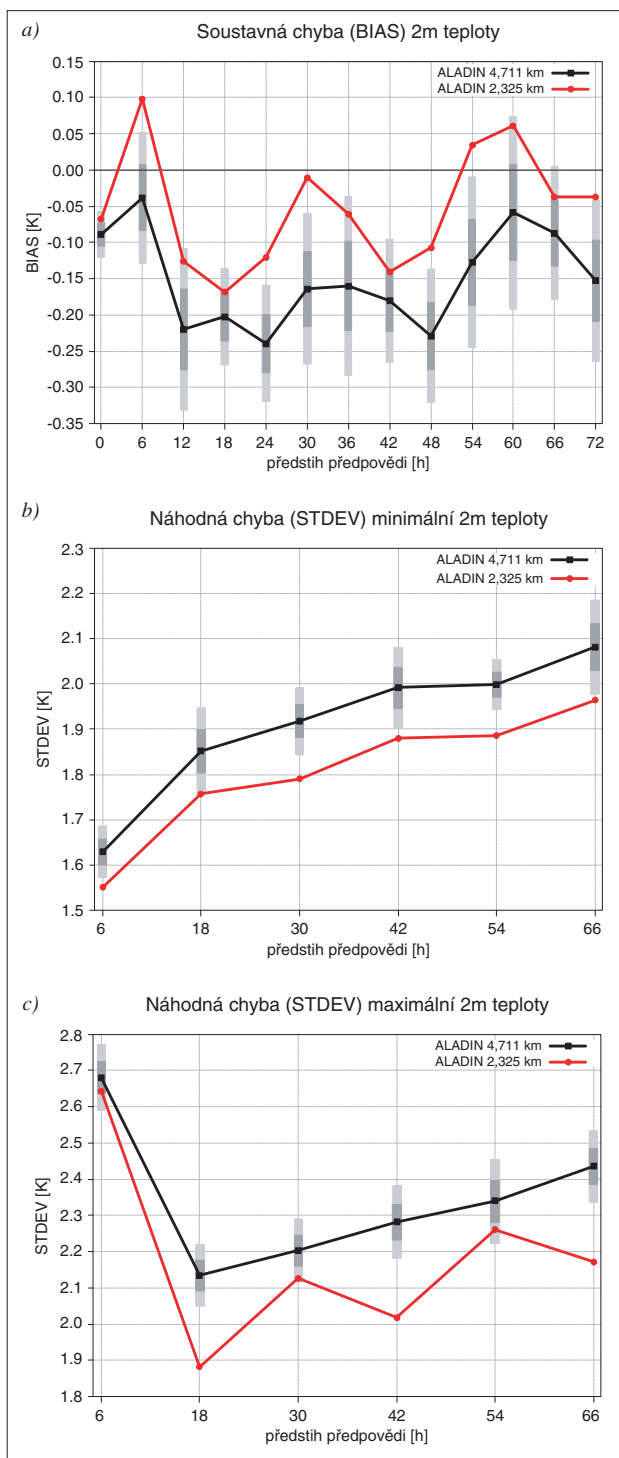
po ukončení výpočtu provozní verze a testují se i hlavní části následného zpracování. Výstupy z paralelního testu je tak možné porovnávat s provozní verzí například v podobě map. Velmi důležitá jsou statistická skóre počítaná proti pozorováním, která musí potvrdit kvalitu nové verze před jejím zařazením do provozu. Paralelní test nové verze modelu s vysokým rozlišením byl spuštěn 10. 1. 2019. V průběhu testu došlo ještě k výše popsané úpravě nastavení schématu oblačnosti, kdy finální konfigurace běžela paralelně od 8. 2. 2019 a do provozu byla uvedena 5. 3. 2019.

Při zvýšení horizontálního rozlišení se obecně očekává zlepšení skóre modelu pro přízemní parametry, jako je teplota a vlhkost ve 2 m, a vítr v 10 m, zejména díky detailnějšímu popisu topografie a dalších parametrů zemského povrchu. Výsledky testů tato očekávání potvrdily, a to jak v případě soustavných chyb, tak náhodných chyb, viz příklady znázorněné na obr. 5 a obr. 6. Samozřejmě, že míra zlepšení skóre je závislá na sezóně, a že má i denní chod. Ze získaných výsledků je patrné, že ve skóre teploty ve 2 m snižujeme chybu až o 0,1 °C, u maximálních teplot až o 0,4 °C, u minimálních teplot až o 0,3 °C. Chyba rychlosti větru je snížena typicky o 0,1 m.s⁻¹. S ohledem na typické velikosti chyb tyto statistické údaje dokládají výrazné zlepšení výsledků modelu. Jiná ukáзка zpřesnění předpovědi teploty ve 2 m je na obr. 7, kde čtenář může vizuálně porovnat toto pole pro realizace modelu v původním a nynějším rozlišení. Pro ilustraci byla vybrána situace s přechodem studené fronty.

Co se týče dalších parametrů, jako jsou oblačnost a srážky, tak bodové určené skóre zahrnují náhodnou chybu nemají dobrou vypovídací hodnotu vzhledem k problému dvojího trestu. Dvojí trest se totiž projevuje silněji s rostoucím rozlišením modelů pro parametry, kde se blízko sebe mohou nacházet výrazně odlišné hodnoty. Pokud model předpoví strukturu pole například srážek, která bude tvarem a intenzitou dobře souhlasit s měřením, ale bude špatně prostorově lokalizována, tak bodové skóre tuto předpověď ohodnotí hůře než absenci jakékoliv struktury. Taková předpověď bude totiž penalizována dvakrát, jednou v místě, kde struktura dle měření chybí a podruhé tam, kde je předpovězena, ale není pozorována. Více k této problematice čtenář najde například v práci Zacharov a Řezáčová (2010). Přesto tradiční bodová verifikace 6hodinových úhrnů srážek v zimním období ukázala v porovnání s referencí na 4,711 km téměř neutralitu. V letním období jsou srážky v nové verzi modelu slabě nadhodnoceny pro úhrny v odpoledních hodinách, tj. od 12:00 UTC do 18:00 UTC, a to do 0,1 mm. U oblačnosti se v zimním období projevila korekce záporné soustavné chyby, a to až o 0,4 oktetu pokrytí.

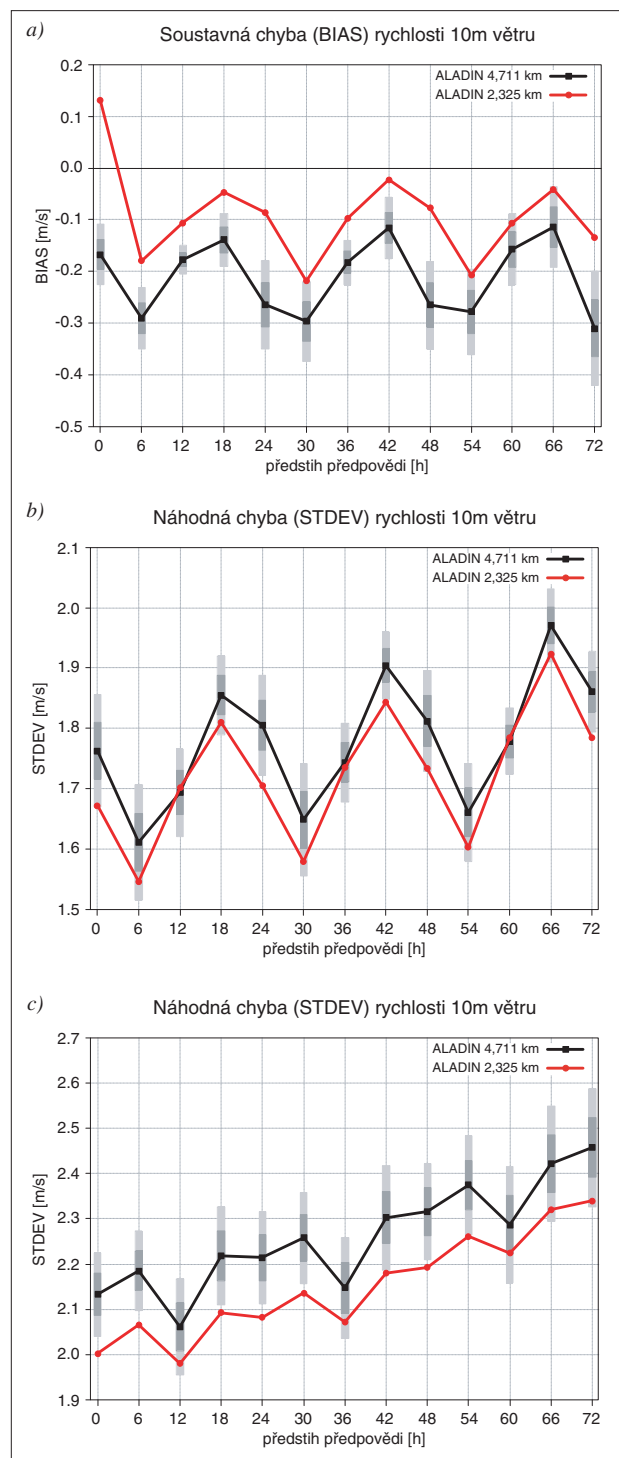
Pro zimní i letní testované sezóny jsou v nové verzi modelu ALADIN zlepšena skóre výškových parametrů v porovnání s radio-sondážními měřeními. V létě je zlepšení patrné zejména pro teplotu a vlhkost, zatímco v zimě, kdy je výraznější baroklinita atmosféry, jsou lepší skóre zaznamenána hlavně v poli geopotenciálu a větru (obr. 8).

Kvalitativní změnou v nové verzi byl přechod na nehydrostatické dynamické jádro. To spolu s vysokým rozlišením umožňuje simulovat vlny vznikající vzlakem při stabilním zvrstvení. Vzlakové vlny bývají vidět díky oblačnosti vznikající ve výstupném proudu, zatímco v sestupném proudu je jasná obloha. Příklad této vlnové oblačnosti předpovězené modelem ve srovnání se satelitním pozorováním je uveden v technickém dokumentu ČHMÚ (Smolíková 2019). Spolu s tím se přirozeně zlepšuje schopnost modelu podchytit konvektivní jevy, jež jsou svou podstatou nehydrostatické. Proto jsme



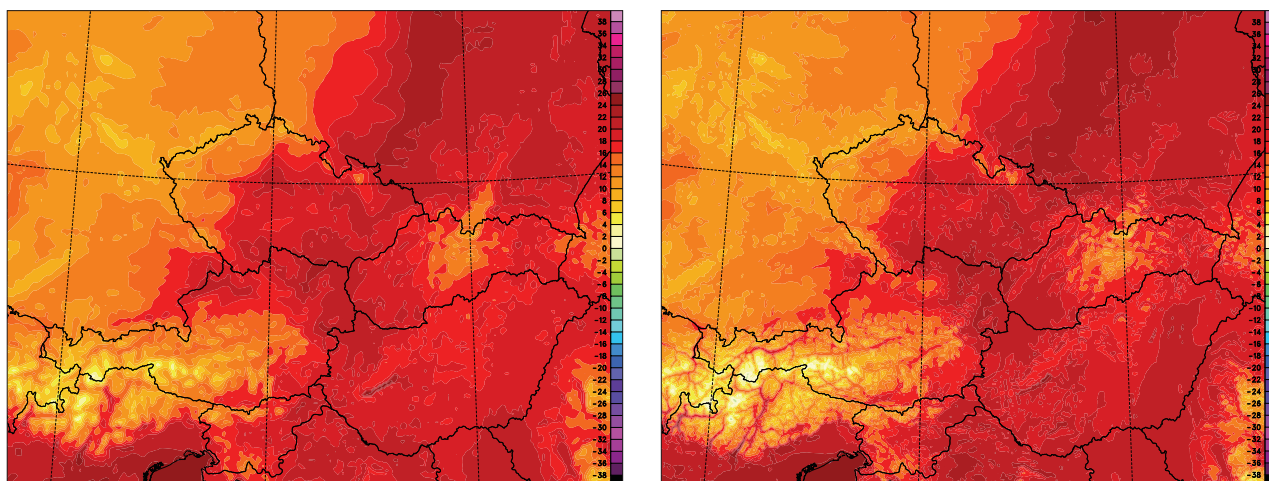
Obr. 5 (a) soustavná chyba teploty ve 2 m [°C] v zimním verifikačním období od 10/01/2019 do 21/02/2019; (b) a (c) náhodná chyba minimální, respektive maximální teploty ve 2 m [°C] v letním verifikačním období od 14/05/2018 do 31/05/2018. Černou křivkou je znázorněno skóre reference v rozlišení 4,711 km a červenou křivkou skóre nové verze v rozlišení 2,325 km. U reference jsou zobrazeny intervaly spolehlivosti $\pm \sigma$ (cca 68 %) tmavými obdélníky a $\pm 2 \sigma$ (cca 95 %) světle šedými obdélníky.

Fig. 5. (a) 2 m temperature bias [°C] for the winter verification period from 10 January 2019 to 21 February 2019; (b) and (c) standard deviation error of minimum and maximum 2 m temperature [°C] respectively for the summer verification period from 14 May 2018 to 31 May 2018. Black line shows the score of the 4,711 km resolution reference and red line shows the score of the new 2,325 km resolution version. The dark bars at the reference resolutions show the intervals of $\pm \sigma$ (approx. 68%) confidence and light grey bars of $\pm 2 \sigma$ (approx. 95%) confidence intervals.



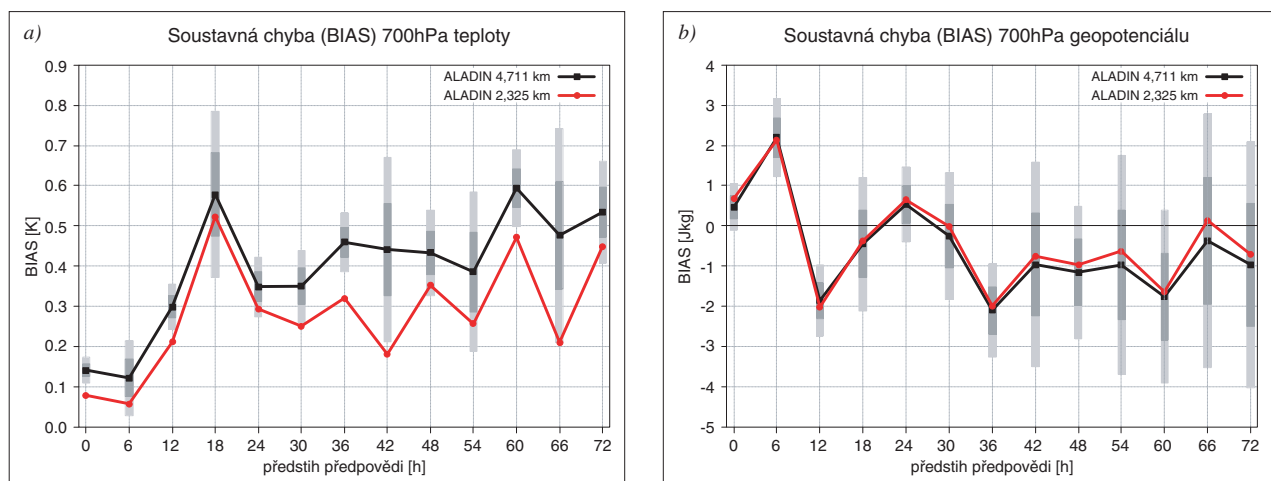
Obr. 6 (a) soustavná chyba rychlosti větru v 10 m [$m \cdot s^{-1}$] v letním verifikačním období od 14/05/2018 do 31/05/2018; (b) a (c) náhodná chyba rychlosti větru v 10 m [$m \cdot s^{-1}$] v letním, respektive zimním (10/01/2019–21/02/2019) verifikačním období. Černou křivkou je znázorněno skóre reference v rozlišení 4,711 km a červená křivka je skóre nové verze v rozlišení 2,325 km. Intervaly spolehlivosti jsou stejné jako na obr. 5.

Fig. 6. (a) 10 m wind speed bias [$m \cdot s^{-1}$] for the summer verification period from 14 May 2018 to 31 May 2018; (b) and (c) 10 m wind speed standard deviation error [$m \cdot s^{-1}$] for the summer and for the winter (10 January 2019–21 February 2019) verification period respectively. Black line shows the score of the 4,711 km resolution reference and red line shows the score of the new 2,325 km resolution version. The confidence intervals are the same as in Fig. 5.



Obr. 7 Předpověď pole teploty ve 2 m [°C] na + 9 h pro běh modelu ze 21/09/2018 ve 12:00 UTC v rozlišení 4,711 km (vlevo) a 2,325 km (vpravo). Pro lepší čitelnost map je zobrazen výřez bližšího okolí České republiky.

Fig. 7. Forecast of 2 m temperature [°C] at + 9 h for the model run from 21 September 2018 at 12:00 UTC in the resolution 4,711 km (left) and 2,325 km (right). For better legibility of the maps, a zoom of the Czech Republic surroundings is shown.



Obr. 8 (a) soustavná chyba teploty [°C] v hladině 700 hPa v letním verifikačním období od 14/05/2018 do 31/05/2018; (b) soustavná chyba absolutní topografie (m) hladiny 700 hPa v zimním verifikačním období od 10/01/2019 do 21/02/2019. Černou křivkou je záznamněno skóre reference v rozlišení 4,711 km a červenou křivkou skóre nové verze v rozlišení 2,325 km. Intervaly spolehlivosti jsou stejné jako na obr. 5.

Fig. 8. (a) temperature bias [°C] at 700 hPa for the summer verification period from 14 May 2018 to 31 May 2018; (b) geopotential bias (m) at 700 hPa for the winter verification period from 10 January 2019 to 21 February 2019. Black line shows the score of the 4.711 km resolution reference and red line shows the score of the new 2.325 km resolution version. The confidence intervals are the same as in Fig. 5.

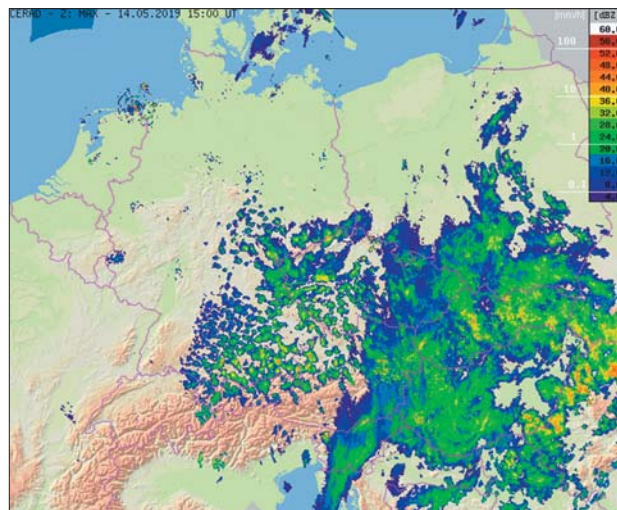
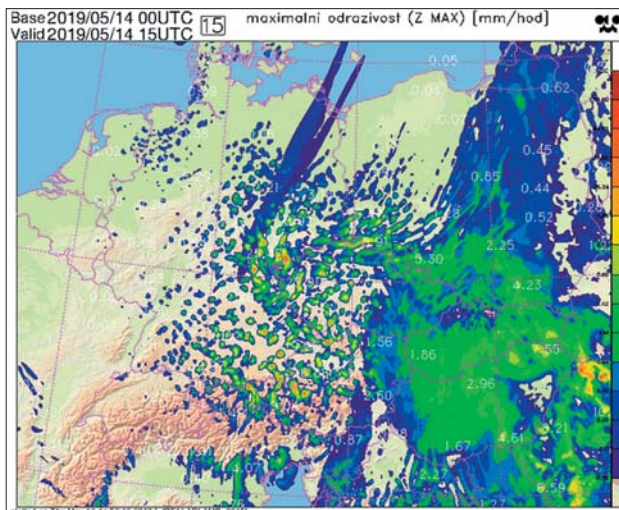
v nové verzi modelu přistoupili k doplnění výstupů o předpovídané simulace okamžitých maximálních radarových odrazivosti (obr. 9). Při té příležitosti jsme výstupy rozšířili i o předpovídané simulace jasových teplot z přístroje SEVIRI družice Meteosat 11, a to pro infračervený kanál s vlnovou délkou 10,8 μm (obr. 10) a kanál vodní páry s vlnovou délkou 6,2 μm .

7. SHRNUTÍ A PERSPEKTIVY

Přechod modelu ALADIN na vyšší horizontální rozlišení 2,325 km představoval poměrně zásadní změnu, jak technikou, tak kvalitativně z pohledu výsledků. V našem příspěvku jsme stručně představili jednotlivé etapy přípravy nové výpočetní oblasti, dále práci na hlavních konfiguracích numerického předpovědního systému ALADIN, kam patří nejenom předpovědní model, ale také algoritmy asimilace pozorování. Zdůraznili jsme to podstatné, čemu je potřeba při přechodu na vyšší rozlišení věnovat pozornost, jako je posun ve spektru nově rozlišených měřítek atmosférické cirkulace a s tím spo-

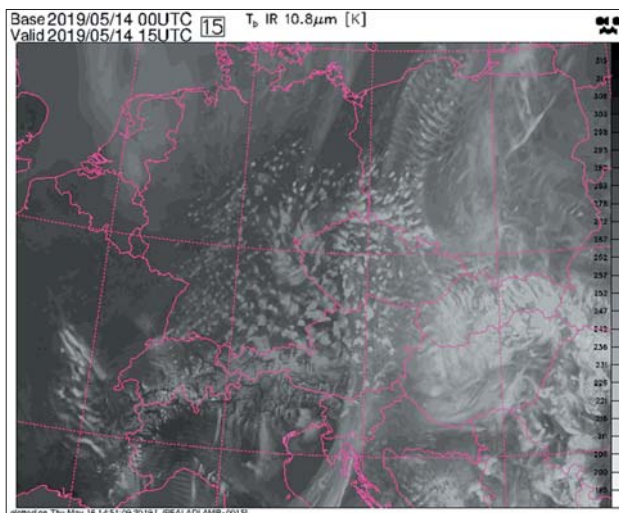
jený dopad na řídicí rovnice modelu zahrnující nehydrostatické jevy a na některé parametrizace, zejména na schémata horizontální difuze a účinků ještě nerozlišené orografie. Dále jsme museli přenastavit schéma oblačnosti vstupující do parametrizace záření, protože dosud nebylo adekvátně revidováno a neobsahovalo přizpůsobení na změnu rozlišení při výpočtu kondenzace na úrovni buňky. Při validaci modelu jsme naopak potvrdili, že přechod na vyšší rozlišení neznamenal žádné významné přeladění parametrizací srážkových procesů včetně hluboké konvekce. To se dalo očekávat i podle výsledků našeho modelu při srovnání v mezinárodním experimentu (Field et al. 2017). Parametrizace těchto procesů jsou v modelu vyvíjeny podle tzv. multi-měřítkového konceptu, kdy je snahou uchopit problém nikoliv v závislosti na velkoprostorovém nebo lokálním měřítku, ale podle typu procesu, jako je mikrofyziologie a transport.

Podle očekávání jsme zlepšili statistická skóre modelu zejména pro přízemní parametry teploty a větru, a to nejen



Obr. 9 Předpověď radarových odrazivostí na +15 h pro běh modelu ze 14/05/2019 v 00:00 UTC (levý panel); pozorované odrazivosti pro ten samý termín získané z produktu OPERA doplněného o radary v Salcburku a ve Vídni (pravý panel).

Fig. 9. Radar reflectivity forecast at +15 h for the model run from 14 May 2019 at 00:00 UTC (left); observed reflectivity for the same validation time obtained from the OPERA product completed by radars at Salzburg and Vienna (right).



Obr. 10 Předpověď jasové teploty přístroje SEVIRI/MSG pro kanál 10,8 μm na +15 h pro běh modelu ze 14/05/2019 v 00:00 UTC (levý panel); pozorovaná jasová teplota pro ten samý termín (pravý panel).

Fig. 10. Forecast of the SEVIRI/MSG instrument brightness temperature for 10.8 μm channel at +15 h for the model run from 14 May 2019 at 0:00 UTC (left); observed brightness temperature for the same validation time (right).

díky vyššímu rozlišení, ale i s ohledem na kvalitnější topografickou databázi a další úpravy, zatímco tradiční bodová skóre 6hodinových srážkových úhrnů byla pro vybraná verifikační období neutrální. Pro lepší posouzení kvality modelu s ohledem na predikci srážek ve vysokém rozlišení plánujeme využít vhodnější prostorové metody verifikace. Na nové verzi modelu ALADIN budeme stavět při dalším vývoji. Ukázali jsme, jak důležité je nastavení dynamického jádra modelu z hlediska stability, přesnosti a efektivity výpočtu. Patří sem i účinná kontrola akumulace šumu v krátkých vlnách horizontální difúzí nebo zvýšení přesnosti výpočtu advekce ve strmém horském terénu. Stabilita, přesnost a efektivita dynamiky modelu bude i nadále patřit k našim výzkumným prioritám, abychom zvládli přípravu na další zvyšování rozlišení. Již jsme zmínili důležitý přínos nových topografických dat, jejichž využití chceme rozšířit na určení tzv. orografické drsnosti povrchu, která interaguje s turbulencí. S tím souvisí práce na novém výpočtu směšovací délky,

kteřá je uzávěrem schématu. Dalším výstupem schématu turbulence by měla být oblačnost mělké konvekce, která by nahradila dosavadní jednoduchý přístup v oblačném schématu pro záření. Na straně srážkových procesů plánujeme v mikrofyzičce přechod od pseudo-prognostického ošetření kroup na plně prognostickou verzi a zařazení fyzikálně realističtější parametrizace nerozlišených sestupných konvekčních proudů. Co se týče dalších parametrizací, tak spíše ve střednědobém horizontu plánujeme zavedení nového schématu povrchu SURFEX (Masson et al. 2013), které využije kvalitnějších databází půdních a vegetačních charakteristik, poskytne komplexnější model zemského povrchu včetně možnosti využití parametrizace energetické bilance městské zástavby. V oblasti asimilace dat plánujeme zkrátit dosavadní krok asimilačního cyklu ze šesti hodin na tři. To umožní prakticky zdvojnásobit počet asimilovaných pozorování, a navíc nově využít jasové teploty z polárních družic vzhledem k typickým časům jejich přeletů nad střední Evropou.

Literatura:

- BAŠTÁK ĎURÁN, I., GELEYN, J.-F., VÁŇA, F., 2014. A Compact Model for the Stability Dependency of TKE Production-Destruction-Conversion Terms Valid for the Whole Range of Richardson Numbers. *Journal of the Atmospheric Sciences*, roč. **71**, č. 8, s. 3004–3026. ISSN 0022-4928. Dostupné z: doi:10.1175/JAS-D-13-0203.1.
- BAŠTÁK ĎURÁN, I., GELEYN, J.-F., VÁŇA, F., SCHMIDLI, J., BROŽKOVÁ, R., 2018. A Turbulence Scheme with Two Prognostic Turbulence Energies. *Journal of the Atmospheric Sciences*, roč. **75**, č. 10, s. 3381–3402. ISSN 0022-4928. Dostupné z: doi:10.1175/JAS-D-18-0026.1.
- BATKA, M., 2004. Algoritmus pro nalezení optimální Lambertovy mapy pro předpovědní model na omezené oblasti. *Meteorologické zprávy*, roč. **57**, č. 6, s. 179–183. Dostupné z WWW: <http://casmz.chmi.cz/assets/2004/Meteo-2004-06.pdf>.
- BÉNARD, P., 2003. Stability of Semi-Implicit and Iterative Centered-Implicit Time Discretizations for Various Equation Systems Used in NWP. *Monthly Weather Review*, roč. **131**, č. 10, s. 2479–2491. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0493(2003)131<2479:sosaic>2.0.co;2.
- BÉNARD, P., VIVODA, J., MAŠEK, J., SMOLÍKOVÁ, P., YESSAD, K. et al., 2010. Dynamical kernel of the Aladin-NH spectral limited-area model: Revised formulation and sensitivity experiments. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **136**, č. 646, s. 155–169. ISSN 00359009. Dostupné z: doi:10.1002/qj.522.
- BERRE, L., DESROZIERS, G., 2010. Filtering of Background Error Variances and Correlations by Local Spatial Averaging: A Review. *Monthly Weather Review*, roč. **138**, č. 10, s. 3693–3720. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/2010MWR3111.1.
- BROŽKOVÁ, R., DERKOVÁ, M., BELLUŠ, M., FARDA, F., 2006. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. *Ocean Science Discussions*, roč. **3**, č. 3, s. 319–342. ISSN 1812-0822. Dostupné z: doi:10.5194/osd-3-319-2006.
- BUBNOVÁ, R., HELLO, G., BÉNARD, P., GELEYN, J.-F., 1995. Integration of the Fully Elastic Equations Cast in the Hydrostatic Pressure Terrain-Following Coordinate in the Framework of the ARPEGE/Aladin NWP System. *Monthly Weather Review*, roč. **123**, č. 2, s. 515–535. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0493(1995)123<0515:IOT-FEE>2.0.CO;2.
- BUČÁNEK, A., 2018. Diagnostika kovariancí chyb předběžného pole ve spojeném systému globální a regionální asimilace dat. Doctoral thesis. Univerzita Karlova. Dostupné z WWW: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/71369/>.
- BUČÁNEK, A., BROŽKOVÁ, R., TROJÁKOVÁ, A., 2015. Asimilační schéma BlendVar v ČHMÚ. *Meteorologické zprávy*, roč. **68**, č. 6, s. 180–185. ISSN 0026-1173.
- CATRY, B., GELEYN, J.-F., BOUYSSSEL, F., CEDILNIK, J., BROŽKOVÁ, R. et al., 2008. A new sub-grid scale lift formulation in a mountain drag parameterisation scheme. *Meteorologische Zeitschrift, Schweizerbart Science Publishers*, roč. **17**, č. 2, s. 193–208. ISSN 0941-2948. Dostupné z: doi:10.1127/0941-2948/2008/0272.
- CATRY, B., GELEYN, J.-F., TUDOR, M., BÉNARD, P., TROJÁKOVÁ, A., 2007. Flux-conservative thermodynamic equations in a mass-weighted framework. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, roč. **59**, č. 1, s. 71–79. ISSN 1600-0870. Dostupné z: doi:10.1111/j.1600-0870.2006.00212.x.
- DERKOVÁ, M., BELLUŠ, M., 2007. Various applications of the blending by digital filter technique in the ALADIN numerical weather prediction system. *Meteorologický časopis*, roč. **10**, č. 1, s. 27–36. Dostupné z WWW: http://www.rclace.eu/File/Predictability/2007/2007-01_MC_Bellus-Derkova.pdf.
- FIELD, P. R., BROŽKOVÁ, R., CHEN, M., DUDHIA, J., LAC, C. et al., 2017. Exploring the convective grey zone with regional simulations of a cold air outbreak. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **143**, č. 707, s. 2537–2555. ISSN 00359009. Dostupné z: doi:10.1002/qj.3105.
- GELEYN, J. F., MAŠEK, J., BROŽKOVÁ, R., KUMA, P., DEGRAUWE, D. et al., 2017. Single interval longwave radiation scheme based on the net exchanged rate decomposition with bracketing. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **143**, č. 704, s. 1313–1335. ISSN 1477870X. Dostupné z: doi:10.1002/qj.3006.
- GERARD, L., 2001. Physical parameterisations for a high resolution operational numerical weather prediction model. Doctoral thesis. Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées.
- GERARD, L., PIRIOU, J.-M., BROŽKOVÁ, R., GELEYN, J.-F., BANCIU, D., 2009. Cloud and Precipitation Parameterization in a Meso-Gamma-Scale Operational Weather Prediction Model. *Monthly Weather Review*, roč. **137**, č. 11, s. 3960–3977. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/2009MWR2750.1.
- GIARD, D., BAZILE, E., 2000. Implementation of a New Assimilation Scheme for Soil and Surface Variables in a Global NWP Model. *Monthly Weather Review*, roč. **128**, č. 4, s. 997–1015. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0493(2000)128<0997:IOANAS>2.0.CO;2.
- HEWER, F. E., WOOD, N., 1998. The effective roughness length for scalar transfer in neutral conditions over hilly terrain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **124**, č. 547, s. 659–685. ISSN 00359009. Dostupné z: doi:10.1256/smsqj.54701.
- HOGAN, R. J., ILLINGWORTH, A. J., 2000. Deriving cloud overlap statistics from radar. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **126**, č. 569, s. 2903–2909. ISSN 00359009. Dostupné z: doi:10.1002/qj.49712656914.
- MAŠEK, J., GELEYN, J. F., BROŽKOVÁ, R., GIOT, O., ACHOM, H. O. et al., 2016. Single interval shortwave radiation scheme with parameterized optical saturation and spectral overlaps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **142**, č. 694, s. 304–326. ISSN 1477870X. Dostupné z: doi:10.1002/qj.2653.
- MASSON, V., LE MOIGNE, P., MARTIN, E., FAROUX, S., ALIAS, A. et al., 2013. The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of earth surface variables and fluxes. *Geoscientific Model Development*, roč. **6**, č. 4, s. 929–960. ISSN 1991959X. Dostupné z: doi:10.5194/gmd-6-929-2013.
- NASTROM, G. D., GAGE, K. S., 1985. A Climatology of Atmospheric Wavenumber Spectra of Wind and Temperature Observed by Commercial Aircraft. *Journal of the Atmospheric Sciences*, roč. **42**, č. 9, s. 950–960. ISSN 0022-4928. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0469(1985)042<0950:ACOAWS>2.0.CO;2.
- NOILHAN, J., MAHFOUF, J. F., 1996. The ISBA land surface parameterisation scheme. *Global and Planetary Change*, roč. **13**, č. 1–4, s. 145–159. ISSN 09218181. Dostupné z: doi:10.1016/0921-8181(95)00043-7.
- NOILHAN, J., PLANTON, S., 1989. A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models. *Monthly Weather Review*, roč. **117**, č. 3, s. 536–549. ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0493(1989)117<0536:ASPOLS>2.0.CO;2.

- OREOPOULOS, L., LEE, D., SUD, Y. C., SUAREZ, M. J., 2012. Radiative impacts of cloud heterogeneity and overlap in an atmospheric General Circulation Model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **12**, č. 19, s. 9097–9111. ISSN 1680-7316. Dostupné z: doi:10.5194/acp-12-9097-2012.
- SMITH, R. N. B., 1990. A scheme for predicting layer clouds and their water content in a general circulation model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **116**, č. 492, s. 435–460. ISSN 00359009. Dostupné z: doi:10.1002/qj.49711649210.
- SMOLÍKOVÁ, P., 2019. Dynamical parameters for the new operational application of the ALADIN system at CHMI aiming to use nonhydrostatic equations at a 2.325 km horizontal resolution. *CHMI technical document*. č. TD000102, s. 1–20.
- TEMPERTON, C., 1992. A Generalized Prime Factor FFT Algorithm for any $N = 2^p 3^q 5^r$. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*. Society for Industrial and Applied Mathematics, roč. **13**, č. 3, s. 676–686. ISSN 0196-5204. Dostupné z: doi:10.1137/0913039.
- TERMONIA, P., FISCHER, C., BAZILE, E., BOUYSSSEL, F., BROŽKOVÁ, R. et al., 2018. The ALADIN System and its canonical model configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1. *Geoscientific Model Development*, roč. **11**, č. 1, s. 257–281. ISSN 1991-9603. Dostupné z: doi:10.5194/gmd-11-257-2018.
- UNTCH, A., HORTAL, M., 2004. A finite-element scheme for the vertical discretization of the semi-Lagrangian version of the ECMWF forecast model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. **130**, č. 599 PART B, s. 1505–1530. ISSN 0035-9009. Dostupné z: doi:10.1256/qj.03.173.
- VIVODA, J., SMOLÍKOVÁ, P., SIMARRO, J., 2018. Finite Elements Used in the Vertical Discretization of the Fully Compressible Core of the ALADIN System. *Monthly Weather Review*, ISSN 0027-0644. Dostupné z: doi:10.1175/mwr-d-18-0043.1.
- WANG, Y., BELLUŠ, M., EHRlich, A., MILE, M., PRISTOV, N. et al., 2018. 27 Years of Regional Cooperation for Limited Area Modelling in Central Europe. *Bulletin of the American Meteorological Society*. ISSN 0003-0007. Dostupné z: doi:10.1175/bams-d-16-0321.1.
- XU, K.-M., RANDALL, D. A., 1996. A Semiempirical Cloudiness Parameterization for Use in Climate Models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, roč. **53**, č. 21, s. 3084–3102. ISSN 0022-4928. Dostupné z: doi:10.1175/1520-0469(1996)053<3084:ASCPFU>2.0.CO;2.
- ZACHAROV, P., ŘEZÁČOVÁ, D., 2010. Verifikace kvantitativní předpovědi srážek. *Meteorologické zprávy*, roč. **63**, č. 5, s. 133–146. Dostupné z WWW: <http://cas.cz/2010/Meteo-2010-05.pdf>.

Lektoři (Reviewers): Mgr. Martin Belluš,
Mgr. Peter Huszár, Ph.D.

INFORMACE – RECENZE

MEZINÁRODNÍ WORKSHOP V ČHMÚ NA TÉMA ASIMILACE METEOROLOGICKÝCH POZOROVÁNÍ DO PŘEDPOVĚDNÍHO SYSTÉMU ALADIN

Ve dnech 18. až 20. září 2019 byl uspořádán v Českém hydrometeorologickém ústavu v Praze workshop s mezinárodní účastí s názvem „Joint LACE Data Assimilation Working Days and ALADIN Data Assimilation basic kit Working Days“.

Cílem tohoto workshopu bylo prezentování nejnovějších dosažených výsledků, výměna poznatků a školení v oblasti asimilace dat do numerického předpovědního modelu ALADIN. Z názvu vyplývá, že se jednalo o společnou akci středoevropského konsorcia RC LACE a konsorcia ALADIN. Cílem Data Assimilation basic kit (DAsKIT) ve všech zemích konsorcia ALADIN je fungující systém asimilace dat. Program byl zahájen společnou sekcí, kdy účastníci prezentovali pokrok a stav operativních systémů asimilace dat ve svých zemích, poté následovaly oddělené tematické sekce obou skupin.

Pozornost byla věnována asimilaci různých typů pozorování, jako jsou letecká pozorování MODE-S, AMDAR, geodetická pozorování E-GVAP, pozorování z přístrojů windprofiler. Samostatná sekce byla věnována asimilaci radarových odrazi-

vostí poskytovaných programem OPERA. V rámci konsorcia LACE probíhá výměna národních přízemních pozorování, a tak byly představeny první výsledky kontroly kvality těchto dat. Kromě práce s pozorováními se prezentace věnovaly také algoritmické části asimilace dat, zejména cyklení analýz s kratším intervalem než obvyklých šest hodin.

Workshopu se zúčastnili odborníci z celkem 14 zemí: Alžírsko, Belgie, Bulharsko, Česká republika, Chorvatsko, Irsko, Maroko, Norsko, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Slovensko, Slovinsko, Tunisko.

Antonín Bučánek, Radmila Brožková



Účastníci workshopu „Joint LACE Data Assimilation Working Days and ALADIN Data Assimilation basic kit Working Days“ se sešli v ČHMÚ, Praze-Komořanech ve dnech 18. až 20. září 2019. Foto: J. Doležal.

VERIFIKACE KVANTITATIVNÍ PŘEDPOVĚDI SRÁŽEK PRODUKOVANÉ MODELEM ALADIN-CZ

Petr Zacharov, Daniela Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AVČR, v. v. i., Boční II/1401, 141 00, Praha 4-Spořilov, petas@ufa.cas.cz, rez@ufa.cas.cz

Radmila Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06, Praha 4-Komořany, radmila.brozkova@chmi.cz

The verification of the QPF produced by ALADIN-CZ model. In this study, verification results are summarized for the quantitative precipitation forecast (QPF) of 3-hour rainfalls over the Czech Republic area. The forecasts were produced by the operational NWP ALADIN-CZ model. The operational CHMI product MERGE provided verification data by merging the radar-based rain rate values and the data from operational gauge stations. Traditional technique based on contingency table, and spatial techniques SAL (Wernli et al. 2008) and FSS (Roberts, Lean 2008) were applied to the verification. The paper consists of two basic parts. In the first part, the results of the study by Zacharov et al. (2013) are revised. The study evaluated the forecast skill of several NWP models for the flood episode from summer 2009. The verification results indicated that the ALADIN-CZ with horizontal resolution of 4.7 km needs to be re-examined. The QPF verification indicated no significant skill in comparison with the previous resolution of 9 km. Therefore, the ALADIN-CZ was modified by the CHMI Numerical Weather Prediction Department. The results are shown for the comparative verification before and after the model modification. They prove the pronounced QPF improvement and show the usefulness of the comparative verification. In the second part, the verification results are presented for the summer period 2013 when heavy flooding occurred in the CR. Forecast lead time and precipitation threshold affect the FSS values. These effects are studied for the whole forecast set and for the two subsets with different area distribution of grid rainfalls. The first verification results for the subsets based on the diagnostic and prognostic precipitation parameters are presented. It is shown that the difference between the both divisions is not substantial which makes possible the a priori estimation of forecast uncertainty in different precipitation regimes.

KLÍČOVÁ SLOVA: kvantitativní předpověď srážek – prostorová verifikace předpovědi – model ALADIN-CZ – metoda SAL – metoda FSS

KEYWORDS: quantitative precipitation forecast – spatial forecast verification – ALADIN-CZ model – SAL method – FSS method

1. ÚVOD

Verifikaci lokální kvantitativní předpovědi srážek je v posledních desetiletích věnována řada studií a projektů. Vzhledem k rostoucímu horizontálnímu rozlišení předpovědních modelů dochází k takovým projevům nejistoty předpovědi, které již není možné hodnotit tradičními verifikačními postupy. Proto bylo provedeno přehodnocení verifikačních technik a vytvořena nová skupina tzv. prostorových verifikačních metod. Jejich cílem je uvolnit požadavek časové a prostorové lokalizace předpovědi tak, aby závěr verifikace odpovídal intuitivnímu uživatelskému názoru. Výsledky verifikace lze směřovat jednak k uživatelům, protože mají vyjádřit věrohodnost předpovědi kondenzované a uživatelsky srozumitelně. Druhou variantou je zaměření na autory modelů, kdy pomocí verifikace hodnotíme, zda a jak se zlepšuje kvalita předpovědi při změnách modelového algoritmu. Hlavním nástrojem pro inovaci přístupů k verifikaci byl mezinárodní projekt ICP (The Spatial Forecast Verification Methods Inter-Comparison Project; Gilleland et al. 2010). Na tento projekt navazuje pokračující mezinárodní projekt MesoVICT (Mesoscale Verification Inter-Comparison over Complex Terrain; Dorninger et al. 2018).

Verifikaci předpovědi srážek je věnována pozornost i v několika studiích publikovaných v MZ v posledních letech. Aktuální stav provozní verifikace předpovědi počasí, která využívá výstupy modelu Aladin-CZ, je předmětem studie autorů z ČHMÚ (Drobek et al. 2013) zejména v souvislosti se zlepšenou prezentací výsledků verifikace na webových stránkách ČHMÚ. Jde o souhrnné hodnocení předpovědi, které sestává z hodnocení několika komponent a probíhá od roku 1958 na základě algoritmu publikovaného ve studii V. Brádky (1960). Verifikace předpovědi srážek je zde jednou komponentou hodnocení předpovědi, přičemž srážky se hodnotí formou pravdě-

podobnosti plošného výskytu srážek v procentech území, resp. stanic a průměrného množství srážek v mm, přičemž hodnocený časový interval odpovídá 07:00 SEČ daného dne až 07:00 SEČ dne následujícího. Nezpochybnitelná kvalita tohoto hodnocení předpovědi spočívá v jeho dlouhodobé aplikaci, která umožňuje sledovat vývoj, resp. zlepšování kvality předpovědi vyjádřené uvedeným způsobem. Metoda se citlivě opírá o provozní zkušenosti autorů hodnocení. Z hlediska statistiky je pokročilejší soubor verifikačních postupů publikovaný v práci E. Červené (1988). Ten již využívá formát bezrozměrné charakteristiky označované z angličtiny jako skill score (SS) a aplikuje ji na verifikaci bodových hodnot meteorologických charakteristik včetně pravděpodobnosti výskytu srážek. Následně byl tento přístup užít ve studii Červené a Šopka (2018), v níž byla zhodnocena verifikace charakteristik bodových hodnot teploty a srážek na stanici Praha-Libuš. Jasně se projevila rostoucí kvalita bodové předpovědi na růstu hodnoty SS za období sezón léto 1982–zima 2017/2018.

V MZ jsme se ve studii Zacharova a Řezáčové (2010) věnovali verifikaci QPF. Poznamenejme, že zkratka QPF z angl. termínu „Quantitative Precipitation Forecast“ označuje pojem kvantitativní předpověď srážek a vyjadřuje prostorové rozložení prognostických hodnot srážkových úhrnů za definovanou dobu. Ve studii z roku 2010 jsme charakterizovali dva základní přístupy k verifikaci QPF, tj. tradiční a prostorovou verifikační techniku. Oba přístupy představují vždy celý soubor metod a kritérií pro vyjádření kvality předpovědi, liší se však v základní myšlence verifikačního postupu.

(1) Na rozdíl od tradiční verifikace založené na porovnání předpovědi s bodovou informací na stanici, pracujeme u prostorové verifikace s analogií prognostických gridů také ve formě diagnostické gridové informace. Ta nejčastěji využívá plošnou informaci z radarového měření.

(2) Na rozdíl od tradičního porovnání grid versus grid pracujeme u prostorové verifikace s plošnými, popř. i časovými okny. Uvolňujeme tedy požadavek přesné časoprostorové shody, jehož splnění u modelové předpovědi s vysokým rozlišením není reálné. U tradiční verifikace vede např. k problému dvojího trestu (double penalty) i za relativně nepodstatnou nepřesnost lokalizace předpovědi (např. Zacharov et al. 2010).

Ve studii z roku 2010 jsme prezentovali a diskutovali výsledky prostorové verifikace pro 6 srážkových prognostických polí získaných při experimentální integraci nehydrostatického modelu COSMO s krokem 2,8 km (např. Řezáčová et al. 2007). Jako diagnostická verifikační data byla použita pole srážkových úhrnů získaná z radarového měření radarů CZRAD a adjustovaná hodnotami pozemních srážkoměrů (Řezáčová et al. 2007).

Motivací pro tento článek je shrnutí výsledků z posledních let, které zatím nebyly publikovány a jsou příkladem využití metod tzv. prostorové (fuzzy) verifikace kvantitativní předpovědi srážek zaměřené zejména na potřeby pracovníků, kteří se podílejí na vývoji NWP modelů. Verifikační metody aplikujeme na výstupy z modelu ALADIN-CZ a jako diagnostická data užíváme výstupy produktu MERGE, který slučuje radarovou a pozemní informaci o srážkových úhrnech a byl vyvinut v ČHMÚ pro operativní aplikace (Šálek, Novák 2008; Šálek 2010; Novák, Kyznarová 2016). Navazujeme tak na práci Zacharov et al. (2013), která sledovala kvalitu QPF pro několik evropských modelů s vysokým rozlišením včetně modelu ALADIN-CZ, který je aplikací numerického předpovědního systému ALADIN (Termonia et al. 2018) pro Českou republiku.

Text studie je strukturován následujícím způsobem. V následující druhé části představujeme uspořádání verifikačního experimentu a použitá vstupní data. Třetí část uvádí základní definice použitých verifikačních metod, které mají zvýšit srozumitelnost výsledků uvedených v kapitolách následujících. Ve čtvrté kapitole hodnotíme kvalitu předpovědi srážek modelem ALADIN-CZ s horizontálním rozlišením 4,71 km, přičemž srovnáváme dvě verze modelu před a po změnách provedených na základě hodnocení ve studii Zacharova et al. (2013). Hodnocení bylo provedeno na datech z povodňové epizody 2009 (Kubát 2009). V páté části se zabýváme otázkou vlivu základních globálních parametrů srážkového pole na přesnost předpovědi srážek a vstupními údaji jsou předpovědi z období květen–září 2013. Poslední částí je diskuze výsledků a závěr číslované jako kapitola 6.

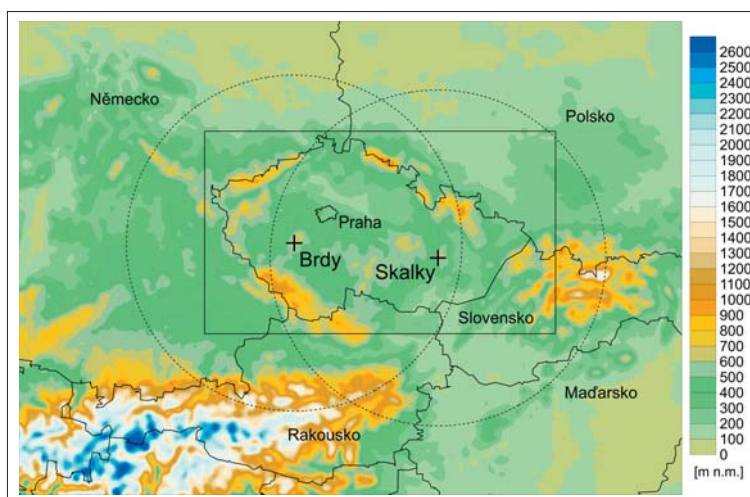
2. POUŽITÁ VSTUPNÍ DATA

Verifikační experimenty popsané v této studii hodnotí kvalitu předpovědi 3 h srážkových úhrnů v oblasti ČR. Předpovědi jsou výsledkem integrace modelu ALADIN-CZ. Jako verifikační data byly použity hodnoty 3 h srážkových úhrnů stanovených produktem ČHMÚ MERGE (Šálek, Novák 2008; Šálek 2010; Novák, Kyznarová 2016), který slučuje radarovou informaci a pozemní srážková měření pomocí techniky kriging. Verifikační data byla interpolována do gridů modelové domény modelu ALADIN-CZ pro odpovídající rozlišení modelu. Verifikační doména obdélníkového tvaru pokrývá území ČR (viz obr. 1).

Pro srovnávací verifikaci před úpravou modelu ALADIN a po jeho úpravě byla užita data

z povodňové epizody v roce 2009. Tato data se vztahují k období od 22. 6. 2009 do 5. 7. 2009 a popisují srážkové poměry během povodní převážně přívalového charakteru. Popis celé epizody je uveden v odpovídající povodňové zprávě (Kubát 2009). Z hlediska verifikace jde o srážková pole, jejichž převažující struktura odpovídá výskytu přívalových srážek a klade vysoké nároky na modelovou předpověď. Kromě důrazu na konvektivní přívalové srážky byla hlavním důvodem použití skutečnost, že tato epizoda byla zpracována ve studii Zacharova et al. (2013), která uvádí výsledky před modifikací modelu ALADIN. Srovnávací verifikace byla provedena na souboru 270 předpovědí se začátkem integrace v 00:00 UTC a s předpovědními dobami +3 h až +54 h.

Výše zmíněná úprava modelu ALADIN se týkala parametrizace hluboké konvekce, pro niž se používá schéma 3MT (zkratka z angl. výrazu Modular Multiscale Microphysics and Transport) popsané v Gérard et al. (2009). Schéma bylo doplněno o zahrnutí dvou dalších mechanismů podporujících konvekci. Prvním je závislost míry vtahování okolního vzduchu do konvektivního oblaku na saturačním deficitu v okolí (Derbyshire et al. 2004). Tím se za podmínek vlhčí okolní atmosféry simuluje menší výpar oblaku a jeho větší vertikální mohutnost. Druhým mechanismem je tzv. „cold pool effect“, kdy jsou konvektivní výstupy podpořeny předchozí srážkovou aktivitou, respektive výparem srážek. Následkem výparu dojde k lokálnímu ochlazení vzduchu a k sestupným proudům. Jejich dynamický účinek na okolí může napomoci vzniku nebo posílení výstupů. V modelu je tento efekt parametrizován závislostí profilu oblaku (Derbyshire et al. 2011; Mapes, Neale 2011) na výparu srážek v předešlých časových krocích. Konečně třetí úpravou, která měla na výpočet srážek největší vliv, byla modulace uzávěru konvekce. Ve schématu 3MT je uzávěr formulován pomocí konvergence vlhkosti. Přicházející vodní pára zvyšuje vlhkou statickou energii atmosféry. Rezervoár této energie je naopak odčerpáván kondenzací v konvektivním výstupu. Předmětem modulace je relativní míra spotřeby konvergující vlhkosti kondenzací, kdy hlavní srážková aktivita nastane až při vyšším rezervoáru vlhké statické energie. Tím se dosáhne posunu



Obr. 1 Verifikační doména pokrývající ČR (vnitřní obdélník), pozice radarů (křížky) a radarový rozsah (tečkovaně). Verifikační doména zahrnuje $112 \times 65 = 7\,280$ gridových bodů (rozlišení 4,71 km) pro verifikaci 3hodinových úhrnů srážek pro předpovědi až na +54 h se startem v 00:00 a ve 12:00 UTC.

Fig. 1. The verification domain covering the CR (inner rectangle), radar positions (crosses) and domains (dotted circles). The domain covers $112 \times 65 = 7\,280$ grid points at the resolution of 4.71 km. The QPF relates to verification of 3-hour precipitation amounts for forecasts up to 54 h starting at 12:00 and 00:00 UTC.

maximální konvektivní aktivity do pozdějších denních hodin a lepšího souhlasu denního chodu konvekce v modelu s pozorovanou skutečností. Navíc je konvektivní aktivita intenzivnější, jelikož má k dispozici vyšší zásobu energie a vlhkosti.

Testy vlivu strukturování vstupních dat byly provedeny již s upravenou verzí modelu pro letní část roku 2013 (květen až září 2013). Byl verifikován soubor 5 436 předpovědí pro předpovědní doby +3 h až +54 h a s počátkem integrace v 00:00 UTC a 12:00 UTC. Součástí datového souboru je i doba povodňové epizody z května a června 2013. Zejména v posledních květnových dnech a na začátku června bylo území ČR zasaženo první vlnou srážek, za níž následovala vlna druhá v posledním červnovém týdnu. Výrazné spadlé srážky spolu s nasyceností povodí vedly k rozsáhlým povodním na území střední Evropy včetně ČR, příčinné srážky byly jak velkoprostorové tak příválové. Celá epizoda je opět podrobně analyzována v odpovídající souhrnné povodňové zprávě, viz (Kubát, Daňhelka 2014) a dílčí zprávě viz (Sandev 2014). Strukturování souboru předpovědí 3hodinových srážkových úhrnů bylo provedeno na základě střední a maximální hodnoty 3hodinového úhrnu ve verifikační doméně (viz obr. 2).

3. ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY POUŽITÝCH VERIFIKAČNÍCH TECHNIK

V této studii předkládáme výsledky verifikace s využitím tradiční metody, metody SAL a metody FSS. Tradiční metoda a metoda FSS jsou podrobně popsány v článku Zacharova a Řezáčové (2010). Zde proto uvádíme pouze základní myšlenky a definice těchto metod potřebné pro pochopení výsledků uvedených v kapitole 4 a 5. Metoda SAL není v článku z roku 2010 popsána, a proto je její popis obsáhlejší.

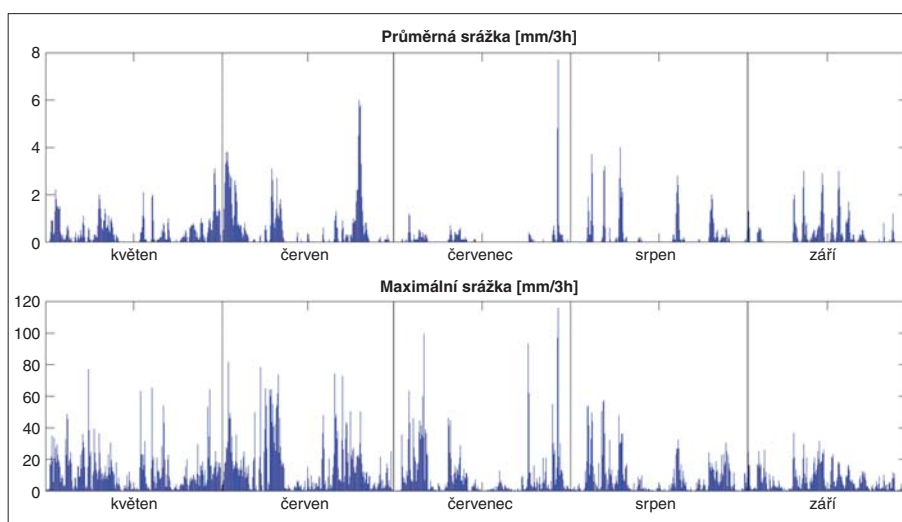
3.1 Tradiční verifikace

Tradiční (klasická) verifikace hodnotí předpověď gridových hodnot srážkového úhrnu. Využívá kontingenční tabulku sestavenou pro kategorickou (binární) předpověď události, která je definovaná jako překročení předem definované prahové hodnoty gridového úhrnu. Pro každé prognostické pole udává kontingenční tabulka (viz tab. 1) hodnoty četnosti, popř. relativní četnosti, gridů v nichž událost byla předpovězena a nastala (a), událost byla předpovězena, ale nenastala (b), událost nastala a nebyla předpovězena (c) a událost nenastala a nebyla předpovězena (d). Na základě těchto hodnot lze stanovit řadu kritérií, které vystihují kvalitu předpovědi. V tomto článku využí-

Tab. 1 Kontingenční tabulka pro kategorickou předpověď události.

Table 1. Contingency table for categorical event prediction.

		Výskyt události	
		ano	ne
Předpověď události	ano	a	b
	ne	c	d



Obr. 2 Základní charakteristiky 3 h srážkových úhrnů stanovené z verifikačních dat (produkt MERGE) pro letní sezonu 2013. Horní (spodní) graf ukazuje střední (maximální) hodnotu 3 h úhrnu stanovenou přes verifikační doménu.

Fig. 2. Basic characteristics of 3-hour precipitation amounts as determined from verification data (MERGE product) over summer 2013. Upper (lower) graph shows mean (maximum) 3-hour precipitation amount over the verification domain.

váme základní kritéria označená jako *POD*, *FAR*, *CSI*, a *BIAS* (další kritéria viz Wilks 2006).

Pravděpodobnost detekce *POD* (z angl. Probability Of Detection) je definována vztahem

$$POD = a / (a + c), \quad (1)$$

a vyjadřuje podíl správných předpovědí na celkovém počtu detekovaných událostí. Hodnota *POD* roste s celkovým počtem správně předpovězených událostí, a tedy i v případě, kdy předpověď je systematicky nadhodnocena. Je proto nutné ji vždy používat v kombinaci s dalšími kritérii.

Pravděpodobnost chybné detekce *FAR* (z angl. False Alarm Ratio) je definována vztahem

$$FAR = b / (a + b) \quad (2)$$

a vyjadřuje podíl chybných předpovědí události z celkového počtu předpovědí provedených. Hodnota *FAR* roste s celkovým počtem chybných předpovědí události, a je proto vhodným doplňkem k *POD*.

Kritický index úspěšnosti *CSI* (z angl. Critical Success Index) je definován vztahem

$$CSI = a / (a + b + c), \quad (3)$$

a vyjadřuje podíl úspěšných předpovědí události na počtu případů, kdy se událost vyskytla nebo byla předpovězena. *CSI* je zaměřeno především na hodnocení řídkých událostí, protože nezahrnuje správně zamítnuté předpovědi.

BIAS označuje frekvenční bias definovaný vztahem

$$BIAS = (a + b) / (a + c), \quad (4)$$

a vyjadřuje poměr počtu předpovězených a skutečně zaznamenaných událostí.

Klasická verifikace hodnotí gridové hodnoty a zejména v případě lokálních konvektivních srážek klade neúměrné nároky na kvalitu hodnot i lokalizaci srážkových úhrnů. Necharakterizuje adekvátně strukturu srážkového pole. To je vyjádřeno zejména uplatněním tzv. dvojitého trestu (z angl. double penalty), kdy i malé posunutí srážkového pole je penalizováno dvakrát, jako příspěvek k hodnotě *b* a současně k hod-

notě c v tab 1. Viz také diskuze tohoto efektu např. v článku Zacharova et al. (2010). Nízká kvalita předpovědi vyjádřená tradiční verifikací tak může vést k situaci, kdy předpověď srážkového pole modelem s vysokým rozlišením je klasifikována jako horší než předpověď modelem s větším modelových krokem (např. Ebert 2009).

3.2 Metoda SAL

Verifikační metoda SAL (Wernli et al. 2008, 2009) patří mezi prostorové verifikační techniky. Na rozdíl od jiných technik (CRA, Ebert, McBride 2000; nebo MODE, Davis et al. 2006, 2009) ovšem nevyžaduje přímou vazbu mezi předpovězenými a měřenými objekty, ale porovnává celá měřená a předpovězená pole. SAL hodnotí prognostické srážkové pole na základě tří charakteristik, které vyjadřují kvalitu předpovědi srážek ve smyslu struktury polí srážek S , amplitudy srážek A a lokalizace objektů L . Pro stanovení některých parametrů metody SAL je nutné určit ve verifikační oblasti objekty, které jsou definovány jako podoblasti, v nichž srážkový úhrn překračuje předem danou mezní hodnotu R_{TH} . Pro danou hodnotu R_{TH} jsou objekty vymezeny v prognostickém i v diagnostickém srážkovém poli. Pro vhodnou hodnotu R_{TH} navrhuji autoři SAL empirický vztah (Wernli et al. 2009)

$$R_{TH} = R_{95}/15, \quad (5)$$

kde R_{95} značí 95% percentil všech gridových hodnot, v nichž srážkový úhrn překračuje 0,1 mm. Volba hodnoty 15 je založena na empirickém poznatku, že takto definované objekty dobře odpovídají vizuálnímu vnímání. Jako prahové hodnoty se užívají ale i absolutní prahy, tzn. fixní prahové hodnoty, např. 10 mm/3 h.

Kritérium A (Amplituda) charakterizuje normalizovaný rozdíl mezi středními hodnotami prognostických a pozorovaných srážek. Amplituda A je vyjádřena vztahem

$$A = 2(D_p - D_o)/(D_p + D_o), \quad (6)$$

kde D_p značí střední srážkový úhrn pro pole prognostických srážek a D_o střední srážkový úhrn pro pole pozorované. Kladné hodnoty A indikují přecenění celkové prognostické srážky, záporné naopak její podcenění. Jde tedy o charakteristiku rozdílu srážkových polí bez ohledu na jejich vnitřní strukturu. A nabývá hodnot v rozsahu -2 až $+2$ a pro perfektní předpověď ve smyslu kritéria A má hodnotu 0.

Mírou shody prostorové struktury srážkových polí je **kritérium L (Lokalizace)**, které je součtem dvou složek

$$L = L_1 + L_2. \quad (7)$$

Složka L_1 charakterizuje normalizovanou vzdálenost mezi těžišti polí prognostických a diagnostických srážek. Je dána vztahem

$$L_1 = |\mathbf{x}_p - \mathbf{x}_o|/d, \quad (8)$$

kde \mathbf{x}_p jsou souřadnice těžiště srážek v prognostickém poli a \mathbf{x}_o v poli pozorovaném. Rozdíl je normován největší vzdáleností okrajových bodů verifikační domény d . Složka L_1 nabývá hodnot v intervalu $(0,1)$ a hodnota $L_1 = 0$ indikuje, že obě hodnoty hmotnostního středu mají identickou polohu. Neznamena ještě dokonalou předpověď, protože stejný hmotnostní střed mohou mít i velmi odlišná srážková pole.

Strukturu srážkových objektů bere v úvahu druhá složka L_2 , která hodnotí střední vzdálenost mezi těžištěm pole celkových srážek a těžišti jednotlivých srážkových objektů. Pro každý objekt vymezený v prognostickém a diagnostickém srážkovém poli se stanoví celkové množství srážek v objektu vztahem

$$R_n = \sum_{(i,j) \in O_n} R_{i,j}, \quad (9)$$

kde R_n je množství srážek v n -tém objektu, označeném jako O_n , a i, j jsou souřadnice gridů v objektu O_n .

Střední vzdálenost mezi těžišti jednotlivých objektů a těžištěm celkového pole vážená množstvím srážek ve všech objektech je potom dána vztahem

$$r = \sum_{n=1}^M R_n |\mathbf{x} - \mathbf{x}_n| / \sum_{n=1}^M R_n, \quad (10)$$

kde M je počet prognostických, popř. diagnostických objektů. Hodnota r je stanovena pro prognostické pole (r_p) i pro verifikační pole (r_o) a normovaný rozdíl obou hodnot určuje charakteristiku L_2 .

$$L_2 = 2|r_p - r_o|/d, \quad (11)$$

kde d je opět největší vzdálenosti okrajových bodů verifikační domény. Hodnota L_2 se liší od 0, když pozorování nebo předpověď nebo obojí obsahují více než jeden objekt nalezený ve verifikační doméně. Hodnota L_2 má stejný rozsah jako hodnota L_1 a L může tedy nabývat hodnot v intervalu $<0, 2>$.

Kritérium S (Struktura) využívá srážkové objekty definované v prognostickém a diagnostickém poli a hodnotí jejich celkovou shodu. Pro každý objekt stanovíme objem srážek normalizovaný na gridové maximum v objektu.

$$V_n = \sum_{(i,j) \in O_n} R_{i,j} / R \max_n = R_n / R \max_n, n = 1, \dots, M. \quad (12)$$

Objem V_n se počítá odděleně pro prognostické a diagnostické objekty. U obou typů objektů stanovíme potom vážený průměr V hodnot V_n pro všechny objekty.

$$V = \sum_{n=1}^M R_n V_n / \sum_{n=1}^M R_n. \quad (13)$$

Analogicky jako charakteristika A daná vztahem (5) je hodnota S určena jako normalizovaný rozdíl prognostické a diagnostické hodnoty V .

$$S = 2(V_p - V_o)/(V_p + V_o), \quad (14)$$

kde V_p značí vážený průměr V pro objekty definované v prognostickém poli srážek a V_o tutéž hodnotu pro objekty v poli verifikačním. Charakteristika S nabývá hodnot v rozsahu od -2 do $+2$. Kladné hodnoty indikují, že prognostické objekty jsou příliš velké nebo příliš ploché. Záporné hodnoty naopak ukazují, že prognostické objekty jsou příliš malé nebo s příliš výrazným maximem.

Z kombinace charakteristik S a A můžeme usuzovat na:

- $S \sim 2$ a $A \sim 2$: příliš velké objekty a přecenění srážek (false alarm)
- $S \sim 2$ a $A \sim -2$: příliš velké objekty a podcenění srážek – příliš stratiformní srážky
- $S \sim -2$ a $A \sim 2$: příliš malé objekty a přecenění srážek – příliš konvektivní srážky
- $S \sim -2$ a $A \sim -2$: příliš malé objekty a podcenění srážek (miss).

3.3 Metoda FSS

Využití kritéria FSS (z angl. Fractions Skill Score, Roberts 2008; Roberts, Lean 2008) je příkladem prostorové metody, která popisuje kvalitu QPF v závislosti na prostorovém měřítku. Tato metoda je podrobně popsána ve studii Zacharov et al. (2010) a uvedeme proto pouze základní nebo nové poznatky o její aplikaci. Při stanovení FSS srovnáváme hodnoty diagnostických a prognostických srážek ve zvoleném časoprostorovém okolí gridu. V případě, že užíváme pouze prostorové okolí, označujeme je jako EA (z angl. Elementary Area).

Srovnávanou veličinou je frakce (relativní počet) gridů, v nichž je v EA překročena zvolená prahová hodnota srážek, R_{TH} .

Označíme-li jako $F_{(n)}(i)$ hodnotu prognostické frakce nadprahového srážkového úhrnu v okolí i -tého gridu a jako $O_{(n)}(i)$ hodnotu odpovídající frakce diagnostické, definujeme pro EA o velikosti n gridů hodnotu $FSS_{(n)}$ vztahem:

$$FSS_{(n)} = 1 - FBS_{(n)} / FBS_{(n)ref}, \quad (15)$$

kde FBS je tzv. Fraction Brier Score definovaný jako Brier Score (Brier 1950) aplikovaný na frakce. Hodnotu FBS lze vyjádřit vztahem

$$FBS_{(n)} = N^{-1} \sum_{i=1}^N (F_{(n)}(i) - O_{(n)}(i))^2, \quad (16)$$

kde N je počet gridů ve verifikační doméně. Jde tedy o střední kvadratickou chybu prognostické frakce definované pomocí velikosti EA a hodnoty srážkového prahu.

Veličina $FBS_{(n)ref}$ ve jmenovateli vztahu (15) vyjadřuje nejhorší možnou hodnotu $FBS_{(n)}$ dosaženou při nulovém překryvu prognostické a diagnostické srážky a $F_{(n)}(i) - O_{(n)}(i) \leq 1$. Je definována vztahem:

$$FBS_{(n)ref} = N^{-1} \sum_{i=1}^N (F_{(n)}(i)^2 - O_{(n)}(i)^2) \quad (17)$$

Hodnota FSS je rovna 1 pro perfektní předpověď, tzn. shodu diagnostických a prognostických frakcí v odpovídajících EA. Hodnotu 0 nabývá FSS pro zcela chybnou předpověď, kdy $FBS_{(n)} = FBS_{(n)ref}$. V případě, že buď v diagnostickém, nebo v prognostickém poli není prahová hodnota překročena, je také $FSS = 0$, není-li překročena v obou polích, není FSS definováno.

Použití FSS je podmíněno (a) určením prahové hodnoty R_{TH} a (b) definicí okolí EA, v němž počítáme frakce. Kritickou otázkou je rozhodnutí, jak dalece lze danou hodnotu FSS (pro dané EA a R_{TH}) považovat za charakteristiku užitečné a použitelné předpovědi. V této souvislosti používáme koncept překročení referenční hodnoty FSS , která odpovídá hodnotě $FSS_{uniform}$ definované vztahem

$$FSS_{uniform} = 0,5 / f_o, \quad (18)$$

kde f_o značí pozorovanou relativní četnost gridů v celé verifikační doméně, v nichž je překročena prahová hodnota R_{TH} . Hodnota n , pro niž $FSS_{(n)}$ odpovídá referenční hodnotě, je potom kritickou minimální hodnotou měřítka n , pro něž je předpověď považována za užitečnou.

Verifikace pomocí FSS je v současné době jednou z nejužívanějších metod prostorové verifikace srážek. Ve většině studií se volí pro každý grid verifikační domény okolí ve formě tzv. elementární oblasti EA o velikosti m krát m gridů kolem gridu uvažovaného. Okolím lze však volit i obecněji. Rozsah prahových hodnot R_{TH} musí respektovat definici FSS .

Kromě provozního použití FSS byla tato metoda a její omezení diskutována v řadě studií, přičemž aktuální shrnující poznatky

lze nalézt ve studii Mittermaier (2018). Zde je také diskutována více méně stále otevřená otázka vyjádření přesnosti souboru verifikovaných předpovědí, a tedy i souboru hodnot FSS . Ve studii Mittermaier (2018) je tento problém řešen pomocí (a) střední hodnoty FSS a (b) pomocí tzv. agregované hodnoty FSS . Ve studiích Zacharov, Řezáčová (2010), Zacharov et al. (2013) i v dalších aplikacích jsme pro posouzení souboru předpovědí pomocí metody FSS použili jiný přístup, který využíváme i v této práci. Kvalitu souboru předpovědí pro danou velikost EA, charakterizujeme relativní četností hodnot FSS větších než referenční hodnota $FSS_{uniform}$ pro dané EA.

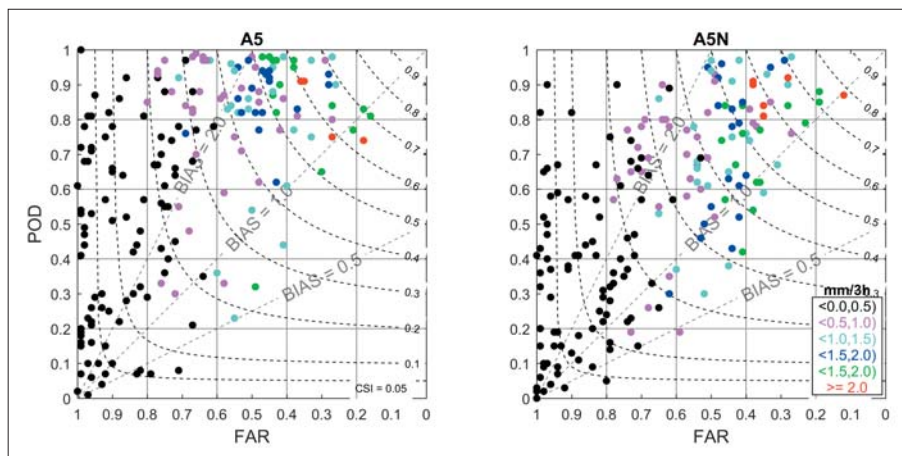
4. SROVNÁVACÍ VERIFIKACE PŘEDPOVĚDI SRÁŽEK

Tradiční i prostorové verifikační techniky byly využity ve studii Zacharova et al. (2013) pro srovnání úspěšnosti QPF produkované modelem ALADIN s horizontálním rozlišením 9 km (dále A9) a 4,7 km (dále A5). Model A9 byl v té době provozní verzi a probíhal přechod na verzi A5. Do srovnání byl dále zahrnut model COSMO s horizontálním rozlišením 7 km a 2,8 km. Srovnání bylo provedeno pro předpovědi 3hodinových srážkových úhrnů pro období od 22. 6.–5. 7. 2009, pro které je charakteristický výskyt přivalových srážek a přivalových povodní na území ČR, viz (Kubát 2009). Jako verifikační data byly využity 3hodinové srážkové úhrny stanovené produktem MERGE sloučením radarových měření a dat z pozemních srážkoměrů.

Ze srovnání modelových předpovědí ve studii Zacharova et al. (2013) vyplynul také závěr, že zvýšení rozlišovací schopnosti modelu ALADIN, tzn. přechod od A9 na A5, se neprojevalo zvýšením úspěšnosti předpovědí. Po úpravách modelového kódu, a především schématu parametrizace konvekce byla pro novou verzi modelu (dále A5N) provedena nová verifikace pro identické období, která prokázala vyšší úspěšnost upravené verze modelu ALADIN (viz dále).

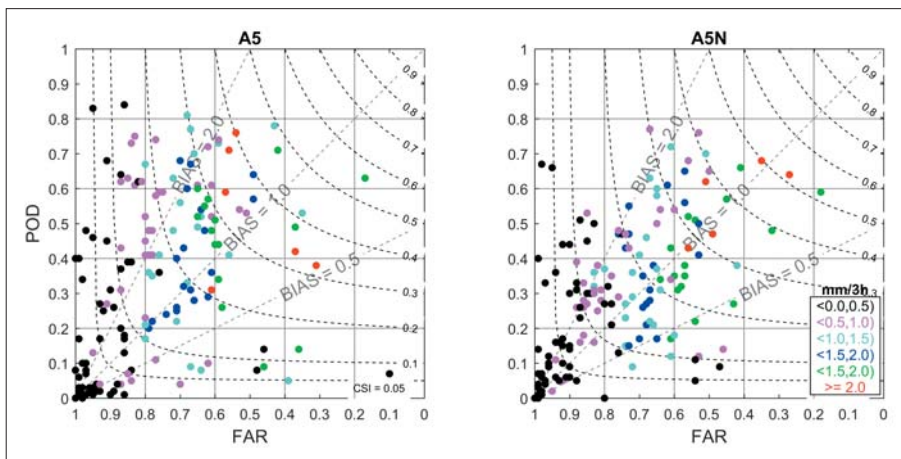
4.1 Aplikace tradiční verifikace

Obrázek 3 představuje, jak se úprava modelu projevila při verifikaci pomocí klasických verifikačních kritérií. Výsledky tradiční verifikace modelů A5 a A5N na obr. 3 byly stanoveny pro nízký práh 0,1 mm/3 h, a vyjadřují tedy základní infor-



Obr. 3 Verifikace předpovědi srážek klasickými kritérii pro verze A5 (vlevo) a A5N (vpravo) a pro práh 0,1 mm/3 h. Horizontální osa – FAR, vertikální osa – POD, křivky – CSI a diagonální přímky – frekvenční BIAS. Barva bodů označuje střední měřenou srážku na verifikační doméně podle legendy. Diskuze výsledku viz text.

Fig. 3. Forecast verification by traditional criteria for the ALADIN model version A5 (left) and A5N (right). The threshold precipitation value of 0.1 mm/3 h was used. Horizontal axis – FAR, vertical axis – POD, the curves – CSI, and diagonal lines – frequency BIAS. The colours of points indicate the mean observed precipitation over the domain according to the legend. See the text for the discussion



Obr. 4 Verifikace předpovědi srážek klasickými kritérii pro verze A5 (vlevo) a A5N (vpravo) a pro práh 1 mm/3 h. Popis viz obr. 3.

Fig. 4. Forecast verification by traditional criteria for the ALADIN model version A5 (left) and A5N (right). The threshold precipitation value of 1 mm/3 h was used. See the Fig. 3 for the description.

maci „srážky ANO / NE“. Barvami jsou odlišené předpovědi pro různé střední hodnoty pozorovaného 3hodinového úhrnu, který byl stanoven z měřených dat a pro celou verifikační doménu. Z obrázku je patrné, že většina bodů pro předpověď A5N se oproti A5 posunula vpravo, a vykazuje tedy zlepšený frekvenční BIAS i snížení počtu falešných předpovědí charakterizované hodnotou FAR. Hodnoty FAR i BIAS jsou však stále vysoké zejména pro nejnižší srážkové úhrny (černé body). Positivní je také zvýšení hodnot CSI současně se snížením hodnoty BIAS. Celkově jsou však srážky stále přeceněné a většina bodů se nachází nad hlavní diagonálou grafu. Z obr. 3 je patrné, že události s vysokou průměrnou srážkou (zelené a červené body) byly z pohledu kontingenční tabulky předpovězeny velmi dobře. Při bližším sledování se ale jedná o situace s velkým pokrytím srážkami většími než prahová hodnota 0,1 mm/3 h.

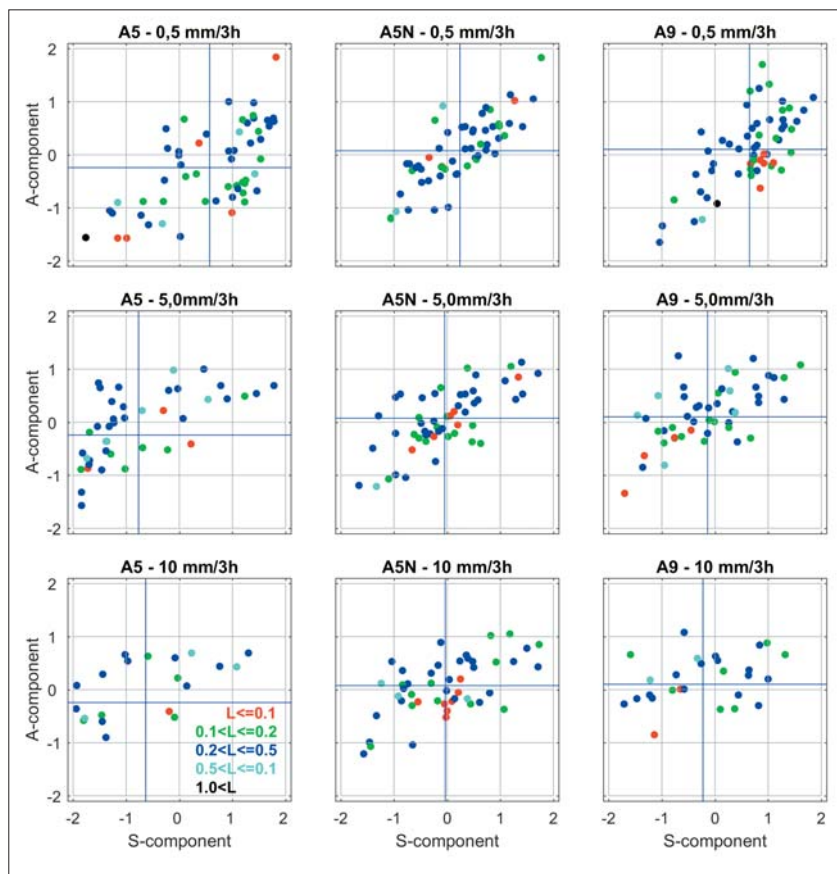
Pro srovnání jsou na obr. 4 znázorněny výsledky verifikace pro vyšší prahovou hodnotu gridové srážky $P_{TH} = 1$ mm/h. I tady je patrné zlepšení hodnot BIAS, výsledky jsou nyní správně rozmístěny kolem hodnot $BIAS = 1$. Nadhodnocení slabých modelových srážek je zřejmé z vysokých hodnot FAR u nízkých hodnot střední srážky (černé body na obrázku).

Celkově nám klasický verifikační postup jasně ukazuje zlepšení předpovědi bodových (gridových) hodnot. Nezískáváme však žádnou informaci o jejich plošném rozložení. Musíme také počítat s výskytem „dvojitého testu“ (z angl. „double penalty“) v případech, kdy předpovězená srážka o správné hodnotě i plošném rozsahu je na ploše posunuta.

4.2 Aplikace metody SAL

Metoda SAL byla aplikována pro různé absolutní i relativní prahové hodnoty, které definují sledované objekty, a pro 3 verze modelu Aladin (A9, A5 a A5N). Obr. 5 ukazuje výsledky SAL pro absolutní prahové hodnoty 0,5 mm/3 h, 5 mm/3 h a 10 mm/3 h. Na obr. 6 jsou znázorněny výsledky pro relativní prahy určené individuálně pro každou předpověď pomocí 95% kvantilu hodnot odpovídajících gridových srážek stanovených z MERGE. Práh R1 odpovídá hodnotě kvantilu a prahy R5 a R15 jsou sníženy tak, že $R5 = R1/5$ a $R15 = R1/15$.

Z výsledků verifikace pomocí



Obr. 5 Srovnání verifikace SAL pro verze A5 (levý sloupec), A5N (prostřední sloupec) a A9 (pravý sloupec). Verifikace byla provedena pro prahové hodnoty 0,5 mm/3 h (horní řádek), 1 mm/3 h (střední řádek) a 10 mm/3 h (dolní řádek). Horizontální osa značí komponentu S a vertikální osa komponentu A. Komponenta L je znázorněna barevně, viz legenda v levém dolním panelu. Vertikální čára značí střední hodnotu komponenty S přes všechny předpovědi (body) a horizontální čára střední hodnotu komponenty A. Barva obou linií odpovídá střední hodnotě komponenty L ve výše uvedené barevné škále. Diskuze výsledku viz text.

Fig. 5. The comparative SAL verification for the versions A5 (left column), A5N (middle column) and A9 (right column). The threshold values of 0.5 mm/3 h (upper line), 1 mm/3 h (middle line), and 10 mm/3 h (lower line) were applied in the verification. Horizontal axis shows the S component, and vertical axis shows the A component. The value of the L component is indicated by the colour, see the legend in the left lower panel. The vertical line marks the mean S value over all forecasts (points), and the horizontal line shows the mean A value. The line colour indicates the mean value of the L component while applying the above defined colour scale. See the text for the discussion.

SAL znázorněných na obr. 5 a obr. 6 je zřejmé, že průměrná hodnota komponenty A je u korigované verze A5N nejbližší k nulové hodnotě a tato verze má tedy nejnižší BIAS. Totéž platí i pro střední hodnotu komponenty S, která vyjadřuje přecenění nebo podcenění prostorového rozsahu objektů. Rozsah srážkových objektů je tedy v průměru u A5N lepší než u předchozí verze A5 i verze s menším rozlišením A9.

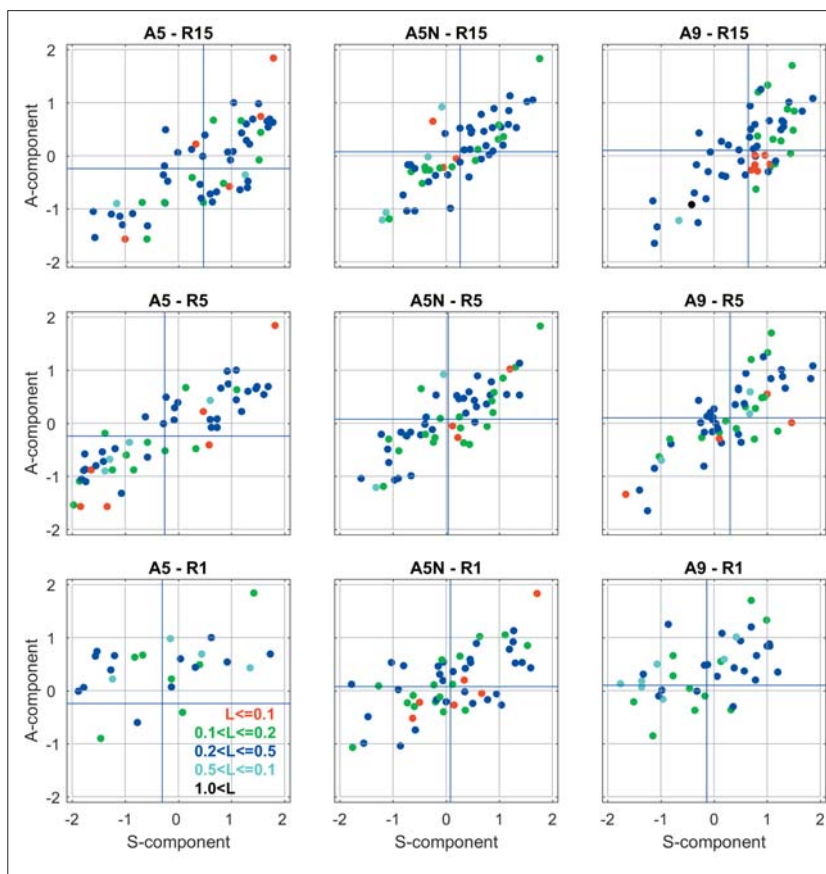
Největší odchylka od nulové hodnoty je v případě verze A5N pro nejnižší prahové hodnoty (0,5 mm/3 h a R15). Předpovědi zde tedy poněkud přeceňují plošný rozsah malých srážkových úhrnů. Zároveň je patrné, že se v polích předpovědi verze A5N našly častěji objekty přesahující vysoké prahové hodnoty (10 mm/3 h a R1), což se projevuje zvýšením počtu bodů v příslušných grafech. Vzhledem k tomu, že zároveň se zvýšením předpovědi objektů s vysokou srážkou se zlepšily i hodnoty komponent SAL, je zřejmé výrazné zlepšení předpovědi verze A5N pro vyšší srážkové úhrny.

Pravděpodobně nejzřetelnější je zlepšení ve větší kumulaci hodnot kolem nulového bodu u A5N ve srovnání s A5 a patrný je i menší rozptyl kolem nulové hodnoty vzhledem k A9. Souhrmně lze tedy usoudit, že z hlediska verifikace metodou SAL došlo při korekci modelu s vysokým rozlišením 4,71 km k poměrně výraznému zvýšení kvality předpovědi vzhledem k verzi A5 před opravou modelu. Také v porovnání výsledků A5N a A9 je zlepšení patrné a zvýšení rozlišovací schopnosti modelu ALADIN-CZ má tedy smysl.

4.3 Aplikace kritéria FSS

Vyhodnocení FSS udává relativní počet předpovědí, při nichž je hodnota FSS vyšší než referenční hodnota $FSS_{uniform}$ daná vztahem (18). FSS závisí na velikosti měřítka (elementární oblasti – EA) a na prahové hodnotě P_{TH} , která je pro dané EA překročena. Obr. 7 zachycuje závislost na volbě prahové hodnoty (0,5 mm/3 h a 1 mm/3 h, 5 mm/3 h, 10 mm/3 h). Na obr. 8 jsou ukázány frakce úspěšných předpovědí pro relativní prahové hodnoty, které jsou stanoveny samostatně pro každou předpověď. Hodnota R1 odpovídá 95% kvantilu všech gridových srážek v poli měření (MERGE), odvozené hodnoty R5 a R15 jsou definované jako $R5 = R1/5$ a $R15 = R1/15$.

Z vyhodnocení FSS je zřetelné velmi výrazné zlepšení předpovědi u verze A5N oproti verzi A5. Pro všechny hodnocené absolutní i relativní prahové hodnoty dosahuje A5N největšího počtu úspěšných předpovědí při všech velikostech EA, kromě malých hodnot EA při použití relativní prahové hodnoty R1 (obr. 8). Zatímco verze A5 se ukazuje jako stejně úspěšná nebo horší než předpověď A9, je A5N výrazně úspěšnější. Vzhledem k charakteru epizody, kdy se vyskytovaly intenzivní konvektivní srážky je nutno poznamenat, že i pro vyšší sledované prahové hodnoty tzn. 10 mm/3 h a R1 je A5N výrazně lepší než obě varianty A5 a A9.



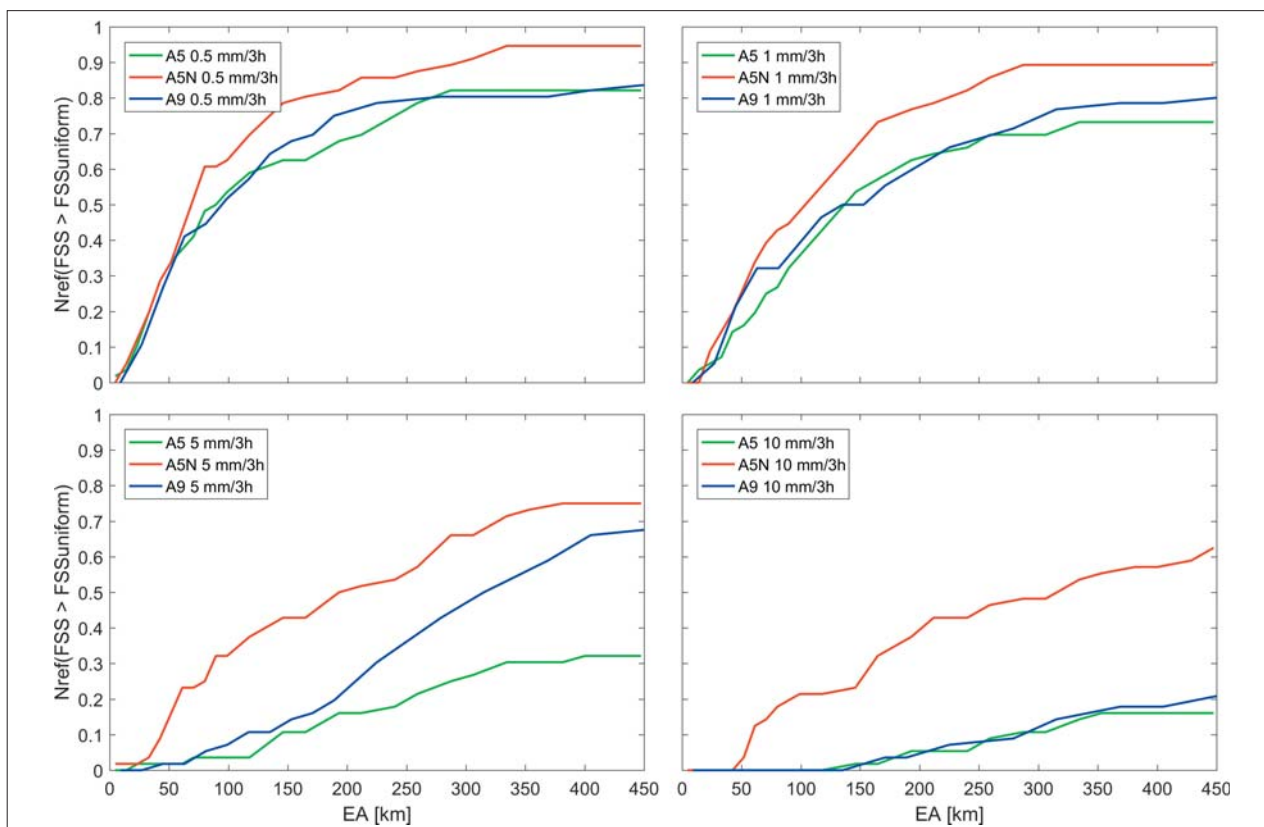
Obr. 6 Srovnání verifikace SAL pro verze A5 (levý sloupec), A5N (prostřední sloupec) a A9 (pravý sloupec). Verifikace byla provedena pro relativní prahové hodnoty R15 (první řádek), R5 (druhý řádek) a R1 (třetí řádek). Popis viz obr. 5.

Fig. 6. The comparative SAL verification for the versions A5 (left column), A5N (middle column) and A9 (right column). The threshold values of R15 (upper line), R5 (middle line), and R1 (lower line) were applied in the verification. See the Fig. 5 for the description.

5. ZÁVISLOST VÝSLEDKŮ VERIFIKACE NA CHARAKTERISTIKÁCH SRÁŽKOVÉHO POLE

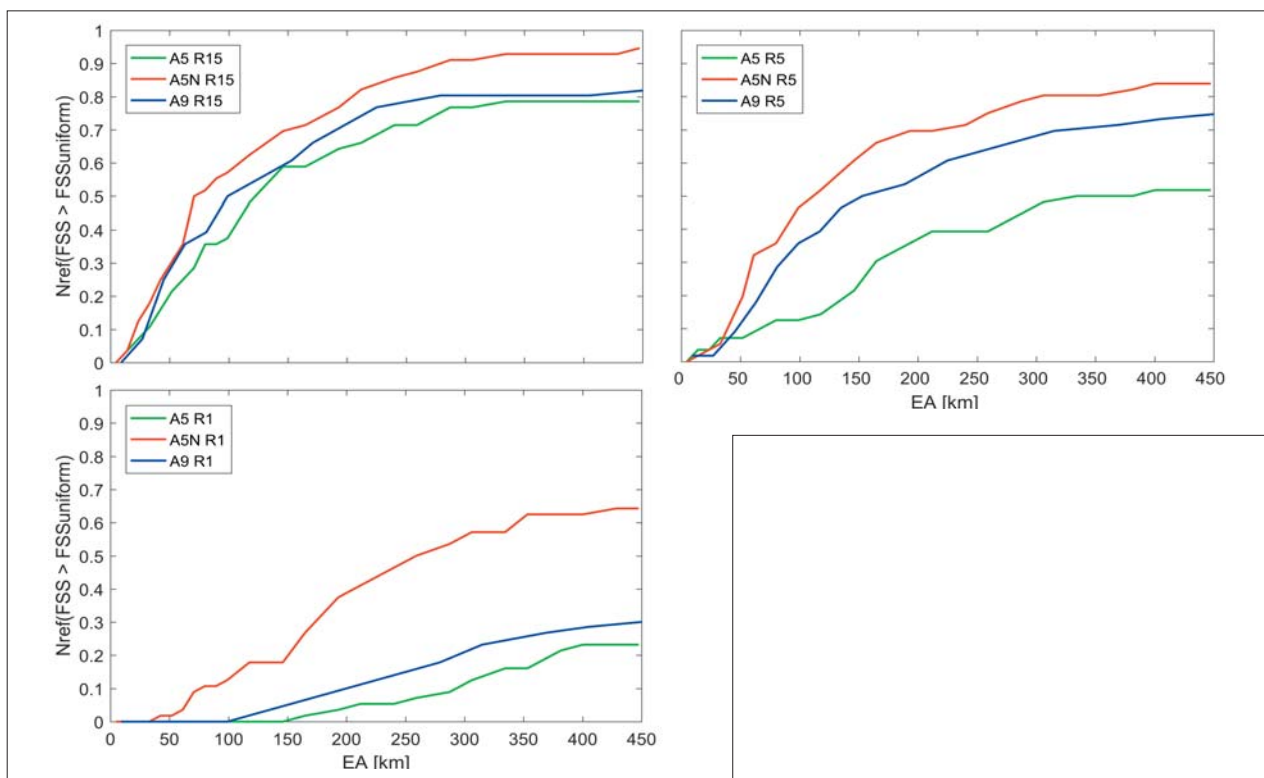
Pro období od května do září 2013 včetně povodňové epizody byla provedena série verifikačních experimentů pro předpověď 3h srážkových úhrnů s verifikačními daty, která byla výsledkem aplikace software MERGE provozovaného v ČHMÚ. Příklad výsledků verifikace celého souboru předpovědí pro různé prahové hodnoty srážek je na obr. 9 pro metodu SAL a na obr. 10 pro metodu FSS.

Rozsáhlejší vstupní datový soubor umožnil, že kromě standardních aplikací na celý soubor jsme se mohli zaměřit na testování podmnožin předpovědí. Pro rozdělení předpovědí jsme využili známou zkušenost, že lokální QPF vždy lépe vystihuje srážky vypadávající ze spíše homogenní vrstevnaté oblačnosti, tzn. rozsáhlejší srážková pole a nižší srážkové úhrny plošných srážek, než spíše lokální srážky konvektivní. Jako globální charakteristiky srážkového pole pro konstrukci podmnožin jsme zvolili střední srážkový úhrn R_{mean} a maximální srážkový úhrn R_{max} stanovené pro celou verifikační doménu z údajů MERGE (viz obr. 2). Volba vhodné hodnoty obou charakteristik logicky vytváří 4 podmnožiny, přičemž konvektivní srážky budou spadat spíše do podmnožiny s vysokou hodnotou R_{max} ale, vzhledem k lokálnímu rozsahu, s nízkou hodnotou R_{mean} . Naopak srážkám z vrstevnaté oblačnosti bude spíše odpovídat podmnožina s nižší hodnotou R_{max} a vyšší hodnotou



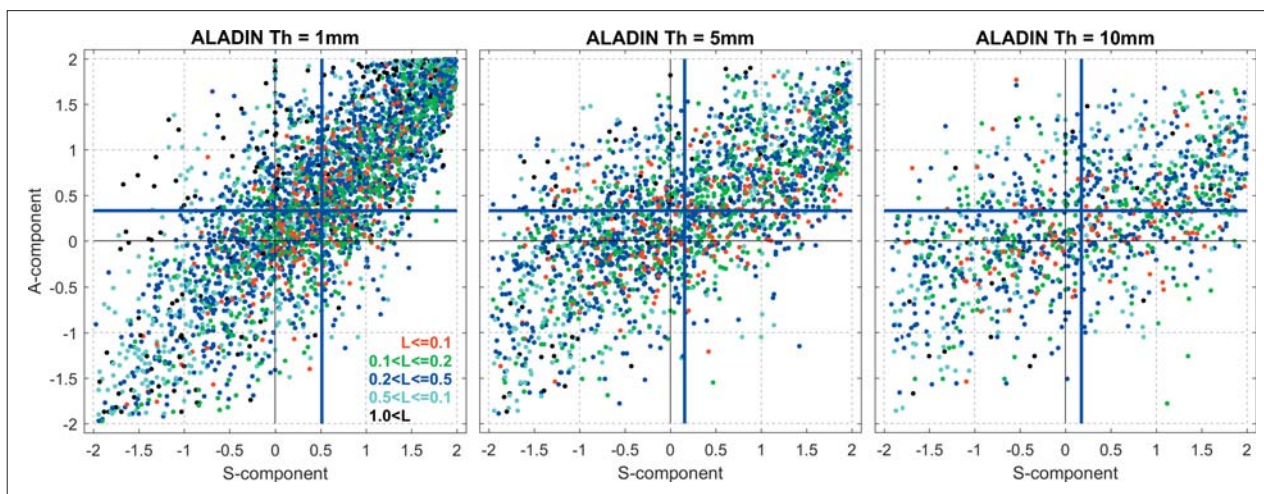
Obr. 7 Relativní četnost N_{ref} hodnot FSS větších než referenční hodnota $FSS_{uniform}$. Ve všech panelech jsou vyznačeny výsledky pro A9 (modrá linie), A5 (zelená linie) a A5N (červená linie). Panely se liší absolutní prahovou hodnotou 0,5 mm/3 h (vlevo nahoře), 1,0 mm/3 h (vpravo nahoře), 5,0 mm/3 h (vlevo dole) a 10,0 mm/3 h (vpravo dole), viz také legenda v každém panelu. Vodorovná osa udává délku hrany čtvercové elementární oblasti.

Fig. 7. The relative N_{ref} frequency of FSS values larger than the $FSS_{uniform}$ reference value. All panels contain results for the A5, A5N and A9 model versions which are distinguished by line colours (A9 blue, A5 green, A5N red). The panels differ in absolute threshold value of 0.5 mm/3 h (upper left), 1.0 mm/3 h (upper right), 5.0 mm/3 h (low left), and 10.0 mm/3 h (low right), see also the legend in each panel. The horizontal axis indicates the length of the side of square elementary area.



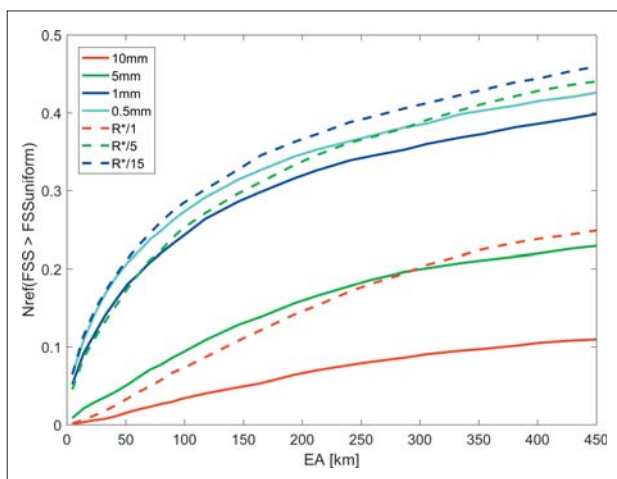
Obr. 8 Jako na obr. 7, ale pro relativní prahové hodnoty R15 (vlevo nahoře), R5 (vpravo nahoře), R1 (vlevo dole) vyznačené v legendě u každého obrázku.

Fig. 8. The same as Fig. 7, but for the relative threshold values R15 (upper left), R5 (upper right), and R1 (low left). See also the legend in each panel.



Obr. 9 Verifikace metodou SAL pro prahové hodnoty 1 mm/3 h (vlevo), 5 mm/3 h (uprostřed) a 10 mm/3 h (vpravo). Byla použita vstupní data MERGE z května až září 2013.

Fig. 9. SAL method verification using threshold values of 1 mm/3 h (left), 5 mm/3 h (centre) and 10 mm/3 h (right). Verification data were produced by the MERGE software for the period May – September 2013.



Obr. 10 Relativní četnost N_{Ref} hodnot FSS klasifikovaných jako vyšší než referenční hodnota $FSS_{uniform}$ v závislosti na délce strany čtvercové elementární oblasti. Jednotlivé křivky odpovídají prahovým hodnotám uvedeným v legendě obrázku. R^* značí 95% kvantil frakcí přes modelovou doménu.

Fig. 10. Relative N_{Ref} frequency of FSS values classified as larger than the reference $FSS_{uniform}$ value. Horizontal axis shows the length of the side of square elementary area. The individual curves correspond to the threshold values given in the legend. The R^* marks the 95th percentile of fractions over the verification domain.

R_{mean} . Zbývající dvě podmnožiny budou charakteristické jednak pro velmi nízké srážky včetně situací beze srážek a jednak pro situace extrémně srážkové. Je zřejmé, že volba mezi pro R_{mean} a R_{max} není jednoznačně definovatelná a musí být výsledkem testů, které také zajistí dostatečný počet hodnot v každé podmnožině.

Pro první testy jsme se zaměřili na silnější srážky definované podmínkou $R_{max} > 10$ mm/3 h. Hodnotili jsme předpovědi s $R_{mean} \leq 1$ mm/3 h a tedy srážky lokální a předpovědi pro $R_{mean} > 1$ mm/3 h a tedy srážky s větším horizontálním rozsahem. Výsledky verifikace FSS jsou na obr. 11 pro oblast A1 s lokálními srážkami a na obr. 12 pro oblast A2 s plošně rozsáhlejšími srážkami. Výsledky na obou obrázcích jasně dokumentují rozdílnou kvalitu předpovědi u obou souborů poměrně silných srážek. Jednoznačně lepší výsledek verifikace u souboru

Tab. 2 Označení podmnožin předpovědi definovaných v závislosti na střední hodnotě R_{mean} a maximální hodnotě R_{max} srážkového úhrnu na verifikační doméně.

Table 2. Indication of subsets of predictions defined depending on the R_{mean} average value and R_{max} maximum value of the precipitation amount on the verification domain.

R_{max} [mm/3 h]	$R_{mean} \geq 1$ [mm/3 h]	$R_{mean} < 1$ [mm/3 h]
≥ 5	01	11
≥ 10	03	13
≥ 20	04	14

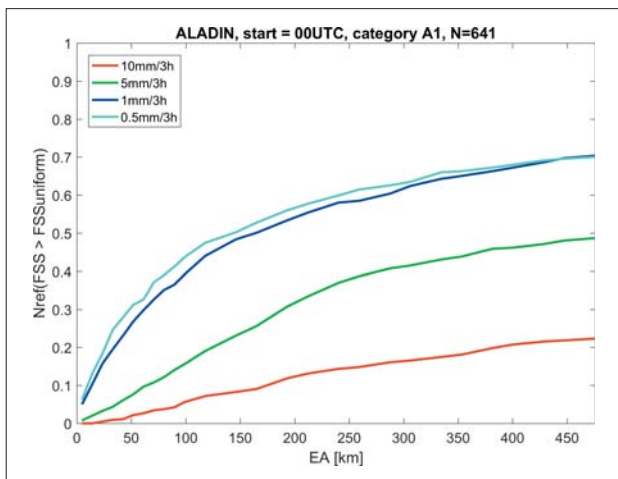
A2 než u souboru A1 ukazuje, jak je plošný rozsah srážek pro kvalitu předpovědi významný.

Na základě obou charakteristik R_{mean} a R_{max} bylo ve druhém experimentu provedeno podrobnější dělení souboru předpovědí. Zvolili jsme dělení do 6 kategorií, které je ukázáno v tab. 2. Zvolené kategorie zahrnují rozdělení do 2 podmnožin podle R_{mean} a každá z nich pak dále do 3 kategorií podle R_{max} .

Kromě rozdělení do podmnožin podle diagnostických hodnot charakteristik R_{mean} a R_{max} jsme zvolili i alternativní dělení podle hodnot prognostických. Každá předpověď byla tedy verifikována daty MERGE a výsledná hodnota FSS bylo pak zařazena do podmnožiny podle hodnot R_{mean} a R_{max} stanovených z pole prognostických srážek. Výsledky strukturované verifikace jsou na obr. 13.

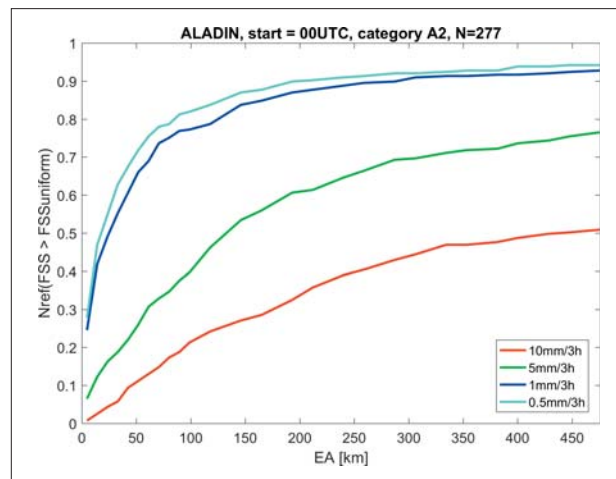
Ze soustavy panelů na obr. 13, které odpovídají jednotlivým podmnožinám, je zřejmé, že podstatně významnější rozdíl vyvolává dělení podle R_{mean} než dělení podle R_{max} . Kromě pravděpodobného fyzikálního důvodu, tzn. důležitosti plošného rozsahu srážkového pole, hraje roli i definice podmnožin podle R_{max} . Podmnožiny 01 a 11 zahrnují i podmnožiny s vyššími mezemi R_{max} . To je vynuceno rozsahem vstupních dat omezeným na jednu letní sezónu.

Výsledky na obr. 13 ukazují poměrně malé rozdíly mezi dělením podle diagnostických a prognostických charakteristik. Diagnostické a prognostické hodnoty R_{mean} a R_{max} pro data z roku 2013 jsou poměrně dobře korelovány. Pro R_{mean} byla stanovena korelace 0,76 a i slabší korelace pro R_{max} o hodnotě 0,56 je statisticky významná. Cílem další práce je tedy rozšíření vstupního souboru na několik sezón, což umožní jem-



Obr. 11 Relativní četnost N_{Ref} hodnot FSS klasifikovaných jako vyšší než referenční hodnota $FSS_{uniform}$ v závislosti na délce strany čtvercové elementární oblasti. Jednotlivé křivky odpovídají prahovým hodnotám uvedeným v legendě obrázku. Soubor předpovědí odpovídá kategorii A1 definované podmínkami $R_{max} > 10 \text{ mm}/3 \text{ h}$ a $R_{mean} \leq 1 \text{ mm}/3 \text{ h}$.

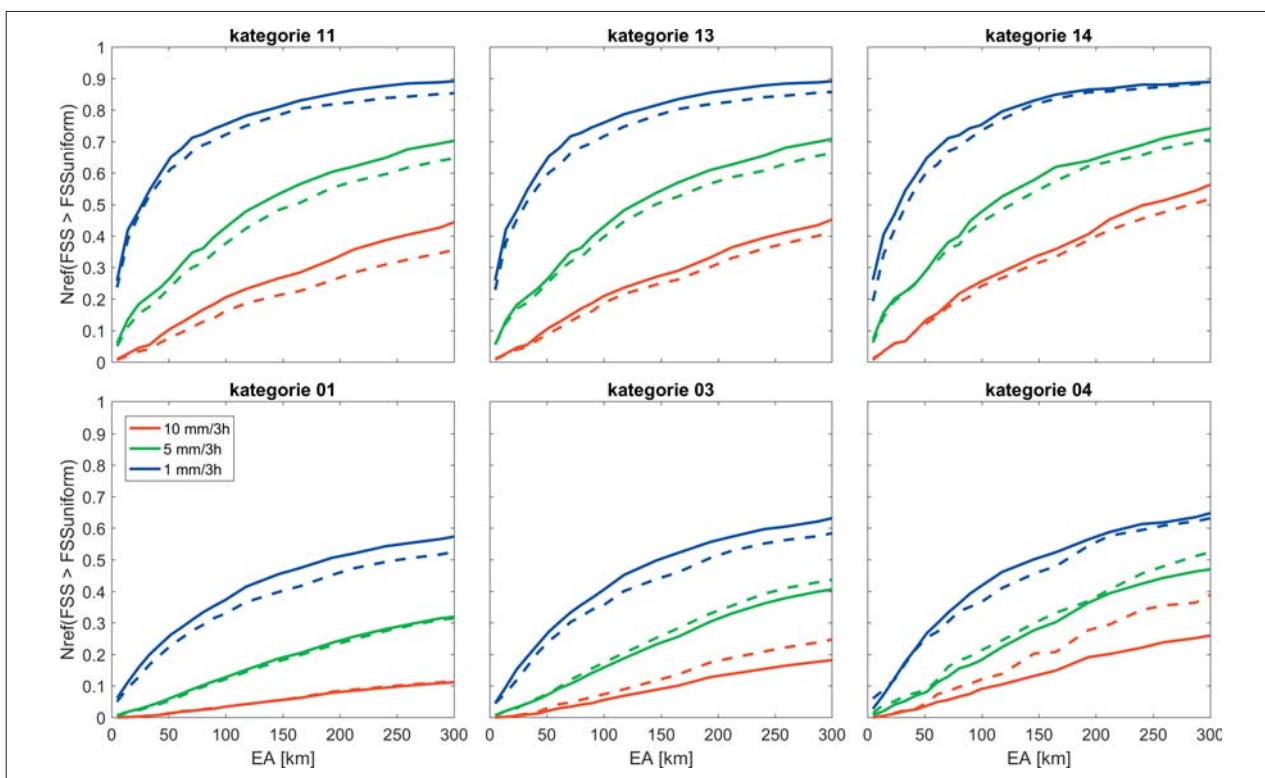
Fig. 11. Relative N_{Ref} frequency of FSS values classified as larger than the reference $FSS_{uniform}$ value. Horizontal axis shows the length of the side of square elementary area. The individual curves correspond to the threshold values given in the legend. The forecast set corresponds to the category A1 which is defined by $R_{max} > 10 \text{ mm}/3 \text{ h}$ and $R_{mean} \leq 1 \text{ mm}/3 \text{ h}$.



Obr. 12 Jako na obr. 11 pro soubor předpovědí, který odpovídá kategorii A2 definované podmínkami $R_{max} > 10 \text{ mm}/3 \text{ h}$ a $R_{mean} > 1 \text{ mm}/3 \text{ h}$.

Fig. 12. As Fig. 11, but for the forecast set corresponding to the A2 category which is defined by $R_{max} > 10 \text{ mm}/3 \text{ h}$ and $R_{mean} > 1 \text{ mm}/3 \text{ h}$.

nější rozdělení množiny výsledků a vyjádření dvourozměrného vztahu mezi diagnostickými a prognostickými charakteristikami. To by znamenalo, že odhad FSS v závislosti na velikosti okolí by bylo možné provést již v době vydání předpovědi na základě prognostických hodnot globálních charakteristik pole.



Obr. 13 Relativní četnost N_{Ref} hodnot FSS klasifikovaných jako vyšší než referenční hodnota $FSS_{uniform}$ v závislosti na délce strany čtvercové elementární oblasti. Jednotlivé křivky odpovídají prahovým hodnotám P_{TH} uvedeným v legendě levého dolního panelu. Plně čáry odpovídají dělení podle diagnostických hodnot R_{mean} a R_{max} , čárkované čáry odpovídají dělení podle hodnot prognostických. Jednotlivé panely odpovídají podmnožinám 01, 03, 04, 11, 13 a 14 definovaným v tab. 2. Podmnožiny jsou vyznačeny v záhlaví každého panelu.

Fig. 13. Relative N_{Ref} frequency of FSS values classified as larger than the reference $FSS_{uniform}$ value. Horizontal axis shows the length of the side of square elementary area. Individual curves correspond to the threshold values P_{TH} shown in the legend of the left lower panel. The full lines correspond to the categories defined by the diagnostic values R_{mean} and R_{max} , dashed lines correspond to the prognostic categories. The individual panels correspond to the subsets 01, 03, 04, 11, 13, and 14, defined in the Table 2. The subsets are marked at the heading of each panel.

6. DISKUZE A ZÁVĚR

Článek shrnuje několik výsledků, které dokumentují užitečnost prostorových metod verifikace QPF. Kromě využití při verifikaci prognostických srážek s vysokým rozlišením může tento typ verifikace použít i ve srovnávacích studiích tak, jak je ukázáno v části 4. Na základě verifikace jsme zde prokázali zlepšení předpovědi srážek při úpravě modelu ALADIN-CZ po zvýšení rozlišovací schopnosti modelu. Toto zlepšení je jasně dokumentováno pomocí tradiční i prostorové verifikace. Vzhledem k tomu, že další pokles modelového kroku nastal nedávno, a sice v březnu 2019, bude jistě užitečné využít otestované verifikační postupy i na nové verzi.

V části 5 jsou uvedeny první výsledky verifikace, která využívá klasifikaci srážkového pole a verifikuje odděleně podmnožiny definované pomocí střední a maximální hodnoty srážkového úhrnu ve verifikační doméně. Cílem rozdělení podle těchto globálních charakteristik je (a) vhodně vystihnout odlišnou kvalitu předpovědi pro rozdílnou prostorovou strukturu srážkového pole a (b) přejít od diagnostických charakteristik na charakteristiky prognostické, které by umožnily odhad přesnosti předpovědi již v době jejího vydání. V této první studii jsme se zaměřili na verifikaci pomocí FSS a verifikační výpočet byl proveden na vstupních datech pouze z letní sezóny 2013. I tento omezený datový soubor ukázal zřetelnou závislost kvality předpovědi srážek na obou charakteristikách. V současné době probíhá výpočet s významně větším datovým souborem ze tří letních sezón, který by měl umožnit lepší posouzení vazby mezi diagnostickými a prognostickými hodnotami globálních charakteristik srážkového pole a využít tuto vazbu pro intervalové vyjádření kvality předpovědi již na základě vlastností prognostických srážek.

V článku navazujeme na výsledky prací Zacharov a Řezáčová (2010), Zacharov et al. (2013) i shrnující práce Řezáčová et al. (2015). Tyto výsledky byly inspirovány aktivitami mezinárodního projektu ICP (The Spatial Forecast Verification Methods Inter-Comparison Project), viz např. Gilleland et al., (2010). Hlavním důvodem projektu bylo zvyšování rozlišovací schopnosti modelů předpovědi počasí, a tedy i předpovědi srážek, které vyžaduje odlišnou interpretaci výsledku, než poskytují tradiční verifikační metody. V současné době se zahajuje pokračování této práce ve formě navazujícího projektu MesoVICT (Mesoscale Verification Inter-Comparison over Complex Terrain). Ten je zaměřen na zlepšení prostorových verifikačních metod a jejich zobecnění na deterministickou a ansámblovou předpověď srážek, větru a teploty nad složitým terénem včetně zahrnutí hodnocení nejistoty pozorování (Dorninger et al. 2018). Zejména od aspektu hodnocení vlivu terénu lze očekávat zajímavé a u nás využitelné poznatky.

Literatura:

- BRÁDKA, V., 1960. Metoda hodnocení předpovědi počasí. *Meteorologické zprávy*, roč. 13, č. 3–4, s. 60–64. ISSN 0026-1173.
- BRIER, G. W., 1950. Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Monthly Weather Review*, Vol. 78, No. 1, s. 1–3.
- ČERVENÁ, E., 1988. Verifikace předpovědi počasí. Český hydrometeorologický ústav. In: *Práce a studie*, sešit 13, s. 47.
- ČERVENÁ, E., ŠOPKO, F., 2018. Verifikace lokálních předpovědí teploty vzduchu a srážek pro Prahu-Libuš. *Meteorologické zprávy*, roč. 71, č. 3, s. 77–79. ISSN 0026-1173.
- DAVIS, C. A., BROWN, B., BULLOCK, R., 2006. Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methodology and application to mesoscale rain areas. *Monthly Weather Review*, Vol. 134, s. 1772–1784.
- DAVIS, C. A., BROWN, B., BULLOCK, R., HALLEY-

- GOTWAY, J., 2009. The method for object-based diagnostic evaluation (MODE) applied to WRF forecasts from the 2005 SPC Spring Program. *Weather and Forecasting*, Vol. 24, s. 1252–1267.
- DERBYSHIRE, S. H., BEAU, I., BECHTOLD, P., GRANDPEIX, J.-Y., PIRIOU, J.-M. et al., 2004. Sensitivity of moist convection to environmental humidity. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 130, s. 3055–3079.
- DERBYSHIRE, S. H., MAIDENS, A. V., MILTON, S. F., STRATTON, R.-A., WILLETT, M. R., 2011. Adaptive detrainment in a convective parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 137, s. 1856–1871.
- DORNINGER, M., GILLELAND, E., CASATI, B., MITTERMAIER, M., EBERT, E. et al., 2018. The set-up of the Mesoscale Verification Inter-comparison over Complex Terrain (MesoVICT) project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 99, No. 9, s. 1887–1906.
- DROBEK, P., VOLNÝ, R., ŠOPKO, F., 2013. Aplikace hodnocení úspěšnosti meteorologických předpovědí v současném provozu předpovědní služby ČHMÚ. *Meteorologické zprávy*, roč. 66, č. 2, s. 56–60. ISSN 0026-1173.
- EBERT, E. E., 2009. Neighborhood Verification: A Strategy for Rewarding Close Forecasts. *Weather and forecasting*, Vol. 24, s. 1498–1510.
- EBERT, E. E., McBRIDE, J. L., 2000. Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors. *Journal of Hydrology*, Vol. 239, s. 179–202.
- GÉRARD, L., PIRIOU, J.-M., BROŽKOVÁ, R., GELEYN, J.-F., BANCIU, D., 2009. Cloud and Precipitation Parameterization in a Meso-Gamma-Scale Operational Weather Prediction Model. *Monthly Weather Review*, Vol. 137, s. 3960–3977.
- GILLELAND, E., AHJEVICH, D. A., BROWN, B. G., EBERT, E., 2010. Verifying forecasts spatially. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 91, No. 10, s. 1365–1376.
- KUBÁT, J. (ed.), 2009. Vyhodnocení příválových povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky. Souhrnná zpráva, 173 s., Praha: ČHMÚ. Dostupné na WWW: <http://voda.chmi.cz/pov09/index.html>.
- KUBÁT, J., DAÑHELKA, J., 2014. Vyhodnocení povodní v červnu 2013. Závěrečná souhrnná zpráva, 257 s., Praha: ČHMÚ. Dostupné na WWW: <http://voda.chmi.cz/pov13/SouhrnnaZprava.pdf>.
- MAPES, B., NEALE, R., 2011. Parameterizing Convective Organization to Escape the Entrainment Dilemma. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, Vol. 3, Art. M06004, 20 s.
- MITTERMAIER, M. P., 2018. A “meta” analysis of the Fractions Skill Score: The limiting case and implications for aggregation. *Monthly Weather Review*, Vol. 146, December 2018. DOI: 10.1175/MWR-D-18-0106.1, Early Online Release-Posted online on 26 Feb 2019.
- NOVÁK, P., KYZVAROVÁ, H., 2016. MERGE2-modernizovaný systém kvantitativních odhadů srážek provozovaný v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické zprávy*, roč. 69, č. 5, s. 137–144. ISSN 0026-1173.
- SANDEV, M. (ed.), 2014. Vyhodnocení povodní v červnu 2013. Meteorologické příčiny povodní – Dílčí zpráva, 56 s., Praha: ČHMÚ. Dostupné na WWW: http://voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava_DU_1_1_Meteorologie-final.pdf.
- ROBERTS, N., 2008. Assessing the spatial and temporal variation in the skill of precipitation forecasts from an NWP model. *Meteorol. Appl.*, Vol. 15, s. 163–169.
- ROBERTS, N. M., LEAN, H. W., 2008. Scale-selective verification of rainfall accumulations from high resolution forecast of convective events. *Monthly Weather Review*, Vol. 136, s. 78–97.
- REZACOVA, D., SOKOL, Z., PESICE, P., 2007. A radar-based verification of precipitation forecast for local convective storms. *Atmospheric Research*. Vol. 83, s. 211–224.

- REZACOVA, D., SZINTAI, B., JAKUBIAK, B., YANO, J.-I., TURNER, S., 2015. Verification of high resolution precipitation forecast by radar-based data, In „Parameterization of atmospheric convection: Current issues and new theories“, London: Imperial College Press, s. 173–214.
- SALEK, M., 2010. Operational application of the precipitation estimate by radar and raingauges using local bias correction and regression kriging. The Sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2010), Sibiu, Romania.
- SALEK, M., NOVAK, P., 2008. Experience gained by five years of the utilization of the radar-based quantitative precipitation estimation at the Czech Hydrometeorological Institute. The Fifth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2008), Helsinki, Finsko.
- TERMONIA, P., FISCHER, C., BAZILE, E., BOUYSSSEL, F., BROŽKOVÁ, R. et al., 2018. The ALADIN System and its canonical model configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1, *Geosci. Model Dev.*, Vol. 11, s. 257–281, Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.5194/gmd-11-257-2018>.
- WERNLI, J. H., PAULAT, M., HAGEN, M., FREI, CH., 2008. SAL – A novel quality measure for the verification of Quantitative Precipitation Forecast. *Monthly Weather Review*, Vol. 136, s. 4470–4487.
- WERNLI, J. H., HOFMANN, CH., ZIMMER, M., 2009. Spatial Forecast Verification Methods Intercomparison Project: Application of the SAL Technique. *Weather and Forecasting*, Vol. 24, s. 1472–1484.
- ZACHAROV, P., REZACOVA, D., BROZKOVÁ, R., 2013. Evaluation of the QPF quality for convective flash flood rainfalls from 2009. *Atmospheric Research*. Vol. 131, s. 95–107.
- ZACHAROV, P., REZACOVA, D., 2010. Verifikace kvantitativní předpovědi srážek. *Meteorologické zprávy*, roč. 63, č. 5, s. 133–146. ISSN 0026-1173.
- ZIMMER, M., WERNLI, J. H., 2011. Verification of quantitative precipitation forecasts on short time-scales: A fuzzy approach to handle timing errors with SAL. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 20, No. 2, s. 95–105.
- Lektoři (Reviewers): RNDr. František Šopko, prof. RNDr. Jan Bednář, CSc.*

INFORMACE – RECENZE

PŘEDPOVĚĎ V HYDROMETEOROLOGICKÉ SLUŽBĚ

Ve dnech 23. až 25. září se uskutečnil výroční seminář České meteorologické společnosti, organizovaný ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem, Univerzitou Karlovou v Praze a Ústavem fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., tentokrát na téma Předpověď v hydrometeorologické službě. Akce se konala v příjemném prostředí Wellness hotelu Hluboký dvůr v Hlubočkách, Hrubé Vodě a uspořádání se po čtyřech letech ujala ostravská pobočka ČMeS a ČHMÚ.

Letošní téma bylo věnováno především nástroji relativně novějšímu, a to numerické předpovědi počasí, která si v letošním roce může připomenout výročí 70 let od prvního úspěšného pokusu. Dnešní podoba je samozřejmě výrazně odlišná a řada příspěvků ukazuje současné možnosti nastoupené cesty numerického modelování, a to i mimo původní základní směr předpovědi termobarického pole. Mimochodem, před 30 lety bylo publikováno použití tohoto nástroje jako regionálního klimatického modelu, které i u nás umožňuje poskytovat podrobné informace o klimatické změně. Téma vybrané pro tento rok reprezentuje fakticky základní cíl a úkoly kompletní palety zaměření v meteorologii, klimatologii, čistotě ovzduší i hydro-

logii, a je tedy i jedním z hlavních úkolů ČHMÚ, čímž jsme dali prostor i k připomenutí 100. výročí založení československého Státního ústavu meteorologického v Praze.

Na semináři zaznělo celkem 22 příspěvků ve čtyřech sekcích: Numerická předpověď počasí, Organizace předpovědní služby, Předpověď kvality ovzduší a Speciální předpověď.

Úterní odpoledne bylo vyhrazeno pro exkurze. Pro účastníky bylo připraveno několik námětů: exkurze na profesionální meteorologickou stanici Červená u Libavé, individuální návštěva historického centra města Olomouce, hrad Helfštýn a Svatý Kopeček u Olomouce.

Více informací, fotodokumentaci, prezentace a sborník abstraktů v pdf formátu najdete na stránce semináře: <http://www.cmes.cz/cs/seminar2019>.

Literatura:

- LIPINA, P. (ed.), 2019. Předpověď v hydrometeorologické službě. Sborník abstraktů z výročního semináře České meteorologické společnosti konaného v Hlubočkách, Hrubé Vodě ve dnech 23.–25. září 2019. Praha: ČHMÚ. 1. vyd. ISBN 978-80-87577-92-9

Pavel Lipina



Výroční seminář České meteorologické společnosti se konala v příjemném prostředí Wellness hotelu Hluboký dvůr v Hlubočkách, Hrubé Vodě. Foto: H. Stehlíková

VLNY VEDER VE STŘEDNÍ EVROPĚ – PŘEHLED SOUČASNÝCH POZNATKŮ

Ondřej Lhotka, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4-Spořilov, ondrej.lhotka@ufa.cas.cz;
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

Jan Kyselý, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4-Spořilov, kyselý@ufa.cas.cz;
Fakulta životního prostředí ČZU, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6

Heat waves over Central Europe – overview of current knowledge. This article presents an overview of long-term variability, driving mechanisms and climate model simulations of heat waves over Central Europe. The past quarter of a century is marked by several extraordinary heat waves and many studies attributed this phenomenon to the ongoing climate change. Persistent heat waves are linked mainly to hot and dry easterly advection driven by blocking anticyclones located over North-eastern Europe. Also changes in the Earth's energy budget and in the vertical structure of the atmosphere are observed during these events. Climate models are generally able to reproduce relationships between heat waves and atmospheric circulation but they often do not simulate links to land-atmosphere interactions properly. An increase of heat waves' frequency in a future climate is expected but relatively high uncertainties have to be considered. We concluded that further progress may be associated with development of very high resolution climate models that allow simulating small-scale processes explicitly, and with overall improvements in reproducing frequency and persistence of blocking anticyclones.

KLÍČOVÁ SLOVA: vlny veder – proměnlivost dlouhodobá – cirkulace atmosférická – energetická bilance zemského povrchu – modely klimatické

KEYWORDS: heat waves – long-term variability – atmospheric circulation – Earth's energy budget – climate models

1. ÚVOD

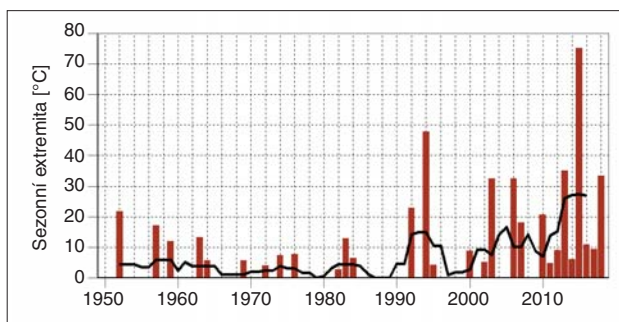
Intenzivnější a déletrvající vlny veder jsou považovány za jeden z nejnebezpečnějších projevů současné klimatické změny. Zvláště nebezpečné jsou dlouhé či krátce po sobě se opakující události, které bývají navíc spjaty se silně nadprůměrnými úhrny srážek. Nejznámější vlny veder zasáhly v letech 2003 západní Evropu a 2010 evropskou část Ruska. Takto výrazné události jsou někdy označovány jako „mega-heatwaves“ (Barriopedro et al. 2011; Fischer 2014), jelikož mají závažné dopady na přírodní i socio-ekonomickou sféru. Beniston et al. (2007) zmiňuje zvýšenou nemocnost a úmrtnost v populaci, stres pro hospodářská i volně žijící zvířata, poškození zemědělských plodin, šíření škůdců a nadměrnou spotřebu elektrické energie pro potřeby chlazení. Během horkého léta 2003 ve Francii byly zaznamenány desetitisíce úmrtí z horka (Robine et al. 2008), nižší produktivita rostlin a s ní související snížené výnosy zemědělských plodin (Bastos et al. 2004) i rekordní ústup ledovců v Alpách (De Bono et al. 2004). Analogické dopady byly pozorovány během extrémně horké vlny z roku 2010 v Rusku, během které navíc velké množství lesních požárů zapříčinilo extrémní znečištění vzduchu v ruských městech (Konovalov et al. 2011).

Podle rešeršní studie vypracované Stottem et al. (2016) je zřejmé, že probíhající klimatická změna zapříčinila nárůst četnosti velmi horkých letních sezon. Z další analýzy vyplývá, že pravděpodobnost výskytu vln veder analogických k létu 2010 by byla bez vlivu klimatické změny přibližně třetinová (Otto et al. 2012). Vzhledem k probíhajícímu růstu globální teploty pokládáme za užitečné seznámit odbornou veřejnost s aktuálním stavem poznání, přičemž vycházíme z výzkumů publikovaných v mezinárodních časopisech (v některých případech aktualizovaných o rok 2018). Tento přehledový článek si rovněž klade za cíl nastínit další možnosti směřování výzkumu těchto nebezpečných meteorologických jevů. Informace uvedené v článku jsou platné převážně pro oblast střední Evropy, nicméně na určité jevy (např. atmosférická cirkulace) je třeba nahlížet v širším měřítku.

2. ROSTOUCÍ EXTREMITA VLN VEDER

Mnoho studií poukazuje na období zvýšené četnosti, doby trvání a intenzity vln veder, které začalo v devadesátých letech 20. století a stále trvá (např. Russo et al. 2015). Toto současné období je výjimečné i v dlouhodobém kontextu – přelom 20. a 21. století se jeví jako nejextrémnější z hlediska intenzity horkých vln od počátku měření v Praze-Klementinu (Kyselý 2010) a podobné výsledky byly zjištěny pro Basilej (Fink et al. 2004) i další evropské stanice se sekulární řadou pozorování (Lhotka, Kyselý 2015a). Ačkoliv nelze zanedbat možné nejistoty spjaté s vlivem rostoucího městského tepelného ostrova (Ward et al. 2016) či výměnou meteorologických přístrojů během doby pozorování (Böhm et al. 2010), výrazný růstový trend extremity vln veder je zřejmý i z dat E-OBS, která vznikají prostorovou interpolací velkého množství staničních měření, včetně údajů ze stanic nacházejících se mimo velká města.

Pokud vyjdeme právě z aktuálních dat E-OBS (Haylock et al. 2008), tak z pohledu extremity vln veder (charakterizované celkovou teplotní sumou nad určitou prahovou hodnotou) bylo v období 1950–2018 ve střední Evropě nejextrémnější léto 2015 (obr. 1). V tomto roce bylo zaznamenáno několik období mimořádně horkého počasí, přičemž nejvýraznější trvalo 13 dní mezi 3. a 15. srpnem (Lhotka et al. 2018b). Podobně dlouhé vlny veder byly pozorovány i v letech 1994 (16 dní), 2006 (11 dní) a během posledního léta 2018 (12 dní). I když konkrétní doby trvání a další charakteristiky mohou záležet na přesném nastavení definice, které se mezi pracemi zaměřenými na různé aspekty studia teplotních extrémů liší, podobně mimořádné události se před rokem 1994 nevyskytovaly (alespoň od poloviny 20. století, kdy lze horké vlny jako prostorové události v databázi E-OBS studovat). Další vlny veder včetně relativně krátkých, ale intenzivních epizod z let 1983 a 2012 (které vedly k překonání absolutních teplotních rekordů na území ČR) jsou rozebrány v práci Lhotka a Kyselý (2015b). Alespoň jedna vlna veder se vyskytla v posledních devíti po sobě jdoucích letech (2010–2018), což ve studovaném období od roku 1950 nemá obdoby. Horká období v létě 2018 byla ve střední Evropě podle celkové intenzity srovnatelná s roky 2003, 2006 a 2013 (obr. 1), extrémnější byly jen roky 2015 a 1994.



Obr. 1 Meziroční proměnlivost extremity vln veder a její pětiletý klouzavý průměr podle dat E-OBS. Sezonní extremita odpovídá sumě kladných odchylek denní maximální teploty vzduchu během vln veder od 90% kvantilu rozdělení těchto teplot v létě. Zájmovou oblastí je střední Evropa (47–53° SŠ; 8–22° VD). Upraveno a aktualizováno podle Lhotka et al. (2018a).

Fig. 1. Inter-annual variability of heat waves' extremity and its 5-year running average calculated using the E-OBS data set. The seasonal extremity corresponds to the sum of positive deviations of daily maximum temperature during heat waves from the 90th percentile of their summer distribution. The analysis is valid for Central Europe (47–53° N; 8–22° E). Modified and updated according to Lhotka et al. (2018a).

3. MECHANISMY VZNIKU VLN VEDER

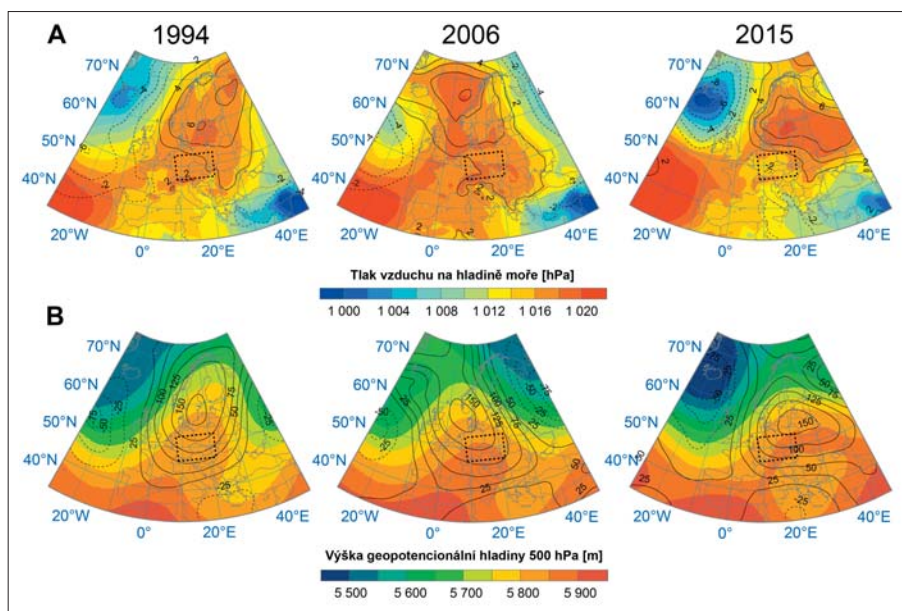
Vznik vln veder je spojen s advekci teplého vzduchu a radiačním prohříváním zemského povrchu ve dnech s malou oblačností (Pfahl, Wernli 2012). Nejvyšší naměřená teplota na území České republiky (40,4 °C dne 20. srpna 2012 v Dobřichovicích) byla dosažena během přílivu velmi teplého vzduchu od jihozápadu (Němec 2012) a podobné cirkulační podmínky panovaly dne 27. července 1983, kdy bylo v Praze-Uhřetěvesi naměřeno 40,2 °C (Valeriánová et al. 2017). Nicméně obě tyto události trvaly poměrně krátkou dobu (Lhotka, Kyselý 2015b). Pro déletrvající období horka ve střední Evropě je důležitý zejména vznik blokující anticyklony nad Skandinávií, která zajišťuje poměrně stabilní advekci teplého a suchého vzduchu z východního kvadrantu (Buehler et al. 2011). Blokující anticyklona byla přítomna během výše zmíněných extrémních vln veder z let 1994, 2006 a 2015 (obr. 2).

Suché východní proudění spjaté s anticyklonálním charakterem počasí má za následek výrazné srážkové deficity během dlouhotrvajících období horka. Lhotka et al. (2018a) uvádí, že během tří výše zmíněných událostí spadla (v průměru pro střední Evropu) zhruba pouze jedna pětina srážek oproti dlouhodobému průměru pro dané období. Srážkový deficit byl navíc zaznamenán i pro třicetidenní období předcházející těmto vlnám veder, kdy se úhrn srážek pohyboval mezi 65–73 procenty normálu. Prohlubování vláhového deficitu vedlo ke zvyšování poměru

mezi zjevným a latentním tokem tepla (Lhotka et al. 2018a). Právě snižování množství energie spotřebované na výpar vede ke zvyšování denních teplotních maxim a intenzifikaci vln veder (Fischer et al. 2007), jedná se tedy o vzájemně propojené jevy. Podle modelových experimentů, které provedli Jaeger a Seneviratne (2011), může být denní maximální teplota vzduchu při kritickém nedostatku půdní vlhkosti řádově o několik °C vyšší. Tento jev je obzvláště zřetelný v urbanizovaných oblastech s velkým zastoupením zpevněných povrchů, které umožňují pouze omezený výpar. I vzhledem k dalším faktorům (např. specifická tepelná kapacita a emisivita stavebních materiálů či omezené proudění vzduchu) mají vlny veder větší intenzitu v městských aglomeracích (Li a Bou-Zeid 2013).

Intenzitu a délku vln veder však ovlivňují i další, méně probádané faktory. Miralles et al. (2014) zjistili, že na teplotní charakter extrémních vln veder z let 2003 a 2010 měla značný vliv postupná akumulace tepla v mezní vrstvě atmosféry. Podle autorů se horký vzduch vzniklý přes den uchovával v nočních hodinách v neobvykle mocné několikakilometrové vrstvě, oddělené od zemského povrchu vrstvou chladnějšího vzduchu o mnohem menší tloušťce (teplotní zvrstvení mělo během nočních hodin inverzní charakter). Tato kapsa horkého vzduchu během dne opět ovlivňovala zemský povrch a podporovala další růst přízemní teploty vzduchu, která v odpoledních hodinách dosahovala neobvykle vysokých hodnot.

V posledních letech se vedou obsáhlé debaty ohledně vlivu rychlého oteplování Arktidy na vlastnosti atmosférické cirkulace v mírných šířkách, zejména její persistenci, která je pro vznik dlouhotrvajících období horka klíčová. Coumou et al. (2018) v přehledovém článku uvádí, že rychlé oteplování Arktidy má pravděpodobně na letní cirkulaci (a tedy i na charakteristiky vln veder) vliv, nicméně autoři rovněž podotýkají, že konkrétní fyzikální mechanismy ještě nejsou zcela objasněny.



Obr. 2 (A) Průměrný tlak vzduchu redukováný na hladinu moře a (B) výška geopotencionální hladiny 500 hPa během dlouhotrvajících vln veder z let 1994, 2006 a 2015. Barevná stupnice značí průměrné hodnoty daného meteorologického prvku během trvání vln veder, zatímco černé čáry vymezují jejich anomálie od dlouhodobého průměru z letních měsíců (červen–srpen). Upraveno podle Lhotka et al. (2018a).

Fig. 2. (A) Average sea level pressure and (B) 500 hPa geopotential height during the persistent 1994, 2006, and 2015 heat waves. The colour scale indicates mean values of the given meteorological variable during these events while black lines represent their anomalies from the long-term summer average (June–August). Modified according to Lhotka et al. (2018a).

4. SIMULACE VLN VEDER V KLIMATICKÝCH MODELECH

Změny charakteristik horkých období v možném budoucím klimatu lze odhadovat pomocí klimatických modelů. Před interpretací výsledků je ovšem třeba ověřit, zda tyto události nastávají v simulacích pro současné nebo nedávné klima z obdobných příčin jako v reálném světě (kapitola 3). Z předšlých studií vyplývá, že většina klimatických modelů je schopna zachytit základní vazby mezi atmosférickou cirkulací a teplotními extrémů, nicméně mají často problémy s vystižením synergického působení různých mechanismů vzniku. Lhotka et al. (2018a) našel mezi simulacemi klimatických modelů velké rozdíly v počtu a extremitě dlouhotrvajících vln veder, které souvisely s úspěšností zachycení jejich příčinných faktorů. Nejextrémnější období horka byla nalezena v modelech, které během nich vykazovaly značný nárůst proudění z jihovýchodního kvadrantu a výrazné zvýšení poměru mezi tokem zjevného a latentního tepla. Naopak klimatické modely, ve kterých nedocházelo během vln veder k výraznějšímu vysušování povrchu, simulovaly pouze málo výrazné události (Lhotka et al. 2018a).

Vliv množství půdní vlhkosti na dlouhotrvající horké období z roku 1994 byl analyzován Lhotkou a Kyselým (2015c). Tato událost byla věrohodně zachycena pouze v modelech (řízených reanalýzou), ve kterých byl deficit srážek podobný pozorovaným datům (model CLM provozovaný ETHZ a model HIRHAM spravovaný Norskou meteorologickou službou, obr. 3). Naopak modely, které během této vlny veder vykazovaly mnohem více srážek, než bylo naměřeno ve skutečnosti (německý model REMO a švédský RCA), simulovaly tuto událost jako výrazně slabší v porovnání s pozorovanými daty.

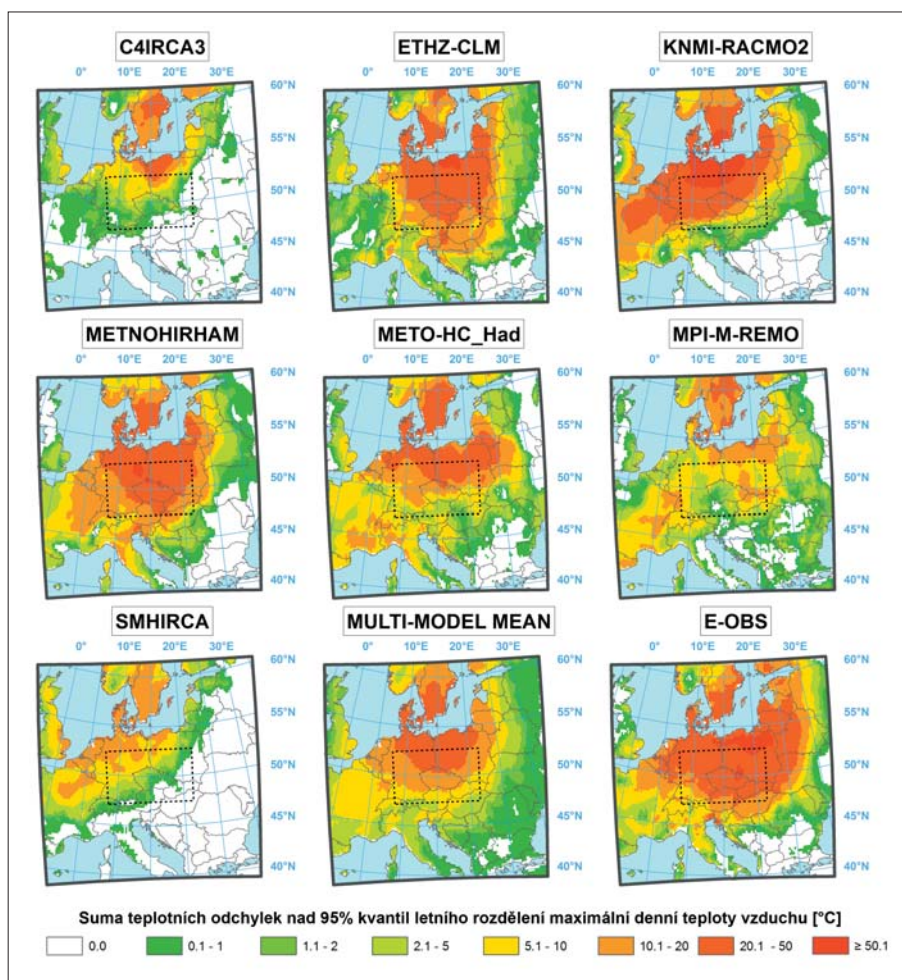
5. VÝHLED DO BUDOUCNA A ZÁVĚRY

Podle Kirtmana et al. (2013) je velmi pravděpodobné, že četnost a doba trvání vln veder se v budoucím klimatu zvýší, což vzhledem k očekávanému růstu teploty není překvapivé. Fischer a Schär (2010) tento nárůst vyčíslili a zjistili, že se na konci 21. století může četnost vln veder ve střední Evropě asi desetinásobně zvýšit, nicméně konkrétní odhady je třeba vždy vztáhnout k použité definici a uvažovat s neurčitostí scénářů možného budoucího vývoje (Lhotka et al. 2018b).

V poslední době došlo k velkému pokroku v poznání teplotních extrémů z hlediska jejich dlouhodobé proměnlivosti, příčinných faktorů i možností simulace klimatickými modely. I přes učiněný pokrok se odhady změn charakte-

ristik vln veder a dalších podobných extrémů v budoucím klimatu poměrně liší, což mimo jiné plyne z omezené schopnosti klimatických modelů vystihnout mechanismy jejich vzniku. Problematické je především zachycení vazeb zemský povrch – atmosféra, jelikož tyto procesy jsou velice proměnlivé v prostoru i čase a jsou obtížně simulovány z důvodu nízkého rozlišení klimatických modelů, a rovněž charakteristik atmosférické cirkulace, zejména vlastností blokujících anticyklón. Kromě těchto modelových nejistot je odhad budoucích změn charakteristik nejen teplotních extrémů zatížen nejistotami ve vývoji koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, a nesmíme zapomenout ani na vliv přirozené proměnlivosti klimatu související mj. s vazbami atmosféra – oceán.

Jelikož dvě naposled zmíněné nejistoty nelze jednoduše odstranit, výzkumné úsilí by se mělo zaměřit na vývoj a testování dokonalejších klimatických modelů s velmi vysokým rozlišením, které umožňují explicitně modelovat i procesy malého měřítka, pro správnou simulaci vln veder (ale i jiných jevů, zejména těch souvisejících se srážkami) klíčové. Slibným krokem vpřed jsou tzv. „convection-permitting“ klimatické modely, které pracují v horizontálním kroku sítě 0,5–4 km (Prein



Obr. 3 Vlna veder z roku 1994 v simulacích jednotlivých klimatických modelů (C4IRCA3 až SMHIRCA) včetně jejich průměru (MULTI-MODEL MEAN) a v pozorovaných datech (E-OBS). Barevná stupnice značí kumulované kladné odchylky maximální denní teploty vzduchu od jejího 95% kvantilu letního rozdělení. Upraveno podle Lhotka a Kyselý (2015c).

Fig. 3. The 1994 heat wave simulated by particular climate models (using C4IRCA3 to SMHIRCA) and their average (MULTI-MODEL MEAN), including observed data (E-OBS). The colour scale indicates cumulative daily maximum temperature deviation from the 95th percentile of their summer distribution. Modified according to Lhotka and Kyselý (2015c).

et al. 2015) a jejichž provoz je umožněn neustálým nárůstem výpočetního výkonu i kapacity datových úložišť. Právě díky rozvoji výpočetní techniky a mezinárodní spolupráce se řeší stále komplexnější projekty, které si kladou mimo jiné za cíl analyzovat nebezpečné meteorologické a klimatické jevy jako sdružené události jak z hlediska kombinace jejich příčinných faktorů, tak z pohledu různých dopadů na socio-ekonomickou sféru. Jedním z příkladů může být právě se rozvíjející projekt DAMOCLES (<https://www.cost.eu/actions/CA17109>), v rámci kterého jsou sdruženy téměř všechny evropské státy včetně České republiky.

Poděkování:

Práce shrnuje některé výsledky vzniklé v rámci projektu Grantové agentury České republiky 16-22000S. O. Lhotka by chtěl rovněž poděkovat za finanční podporu Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy poskytnutou v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415.

Literatura:

- BARRIOPEDRO, D., FISCHER, E. M., LUTERBACHER, J., TRIGO, R. M., GARCÍA-HERRERA, M., 2011. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, roč. **332**, s. 220–224. ISSN 1095-9203.
- BASTOS, A., GOUVEIA, C. M., TRIGO, R. M., RUNNING, S. W., 2014. Analysing the spatio-temporal impacts of the 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. *Biogeosciences*, roč. **11**, s. 3421–3435. ISSN 1726-4170.
- BENISTON, M., STEPHENSON, D. B., CHRISTENSEN, O. B., FERRO, C. A. T., FREI, CH. et al., 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, roč. **81**, s. 71–95. ISSN 0165-0009.
- BÖHM, R., JONES, P. D., HIEBL, J., FRANK, D., BRUNETTI, M. et al., 2010. The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760–2007. *Climatic Change*, roč. **101**, s. 41–67. ISSN 0165-0009.
- BUEHLER, T., RAIBLE, C. C., STOCKER, T. F., 2011. The relationship of winter season North Atlantic blocking frequencies to extreme cold or dry spells in the ERA-40. *Tellus A*, roč. **63**, s. 212–222. ISSN 1600-0870.
- COUMOU, D., DI CAPUA, G., VAVRUS, S., WANG, L., WANG, S., 2018. The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation. *Nature Communications*, roč. **9**, 2959. ISSN 2041-1723.
- DE BONO, A., GIULIANI, G., KLUSER, S., PEDUZZI, P., 2004. Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. *Environment Alert Bulletin*, sv. 2. Geneva: UNEP-GRIP.
- FINK, A. H., BRÜCHER, T., KRÜGER, A., LECKEBUSCH, G. C., PINTO, J. G. et al., 2004. The 2003 European summer heatwaves and drought – synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, roč. **59**, s. 209–216. ISSN 1477-8696.
- FISCHER, E. M., SENEVIRATNE, S. I., LÜTHI, D., SCHÄR, C., 2007. Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. *Geophysical Research Letters*, roč. **34**. ISSN 1944-8007.
- FISCHER, E. M., SCHÄR, C., 2010. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, roč. **3**, s. 398–403. ISSN 1752-0908.
- FISCHER, E. M., 2014. Climate science: Autopsy of two mega-heatwaves. *Nature Geoscience*, roč. **7**, s. 332–333. ISSN 1752-0908.
- HAYLOCK, M. R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A. M. G., KLOK, E. J., JONES, P. D. et al., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, roč. **113**. ISSN 2156-2202.
- KONOVALOV, I. B., BEEKMANN, M., KUZNETSOVA, I. N., YUROVA, A., ZVYAGINTSEV, A. M., 2011. Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: Integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, roč. **11**, s. 10031–10056. ISSN 1680-7367.
- JAEGER, E. B., SENEVIRATNE, S. I., 2011. Impact of soil moisture–atmosphere coupling on European climate extremes and trends in a regional climate model. *Climate Dynamics*, roč. **36**, s. 1919–1939. ISSN 1432-0894.
- KIRTMAN, B., POWER, S. B., ADEDOYIN, J. A., BOER, G. J., BOJARIU, R. et al., 2013. Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. ISBN 978-1107661820.
- KYSELÝ, J., 2010. Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? *International Journal of Climatology*, roč. **30**, s. 89–109. ISSN 1097-0088.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., 2015a. Hot Central-European summer of 2013 in a long-term context. *International Journal of Climatology*, roč. **35**, s. 4399–4407. ISSN 1097-0088.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., 2015b. Characterizing joint effects of spatial extent, temperature magnitude and duration of heat waves and cold spells over Central Europe. *International Journal of Climatology*, roč. **35**, s. 1232–1244. ISSN 1097-0088.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., 2015c. Spatial and temporal characteristics of heat waves over Central Europe in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Dynamics*, roč. **45**, s. 2351–2366. ISSN 1432-0894.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., PLAVCOVÁ, E., 2018a. Evaluation of major heat waves' mechanisms in EURO-CORDEX RCMs over Central Europe. *Climate Dynamics*, roč. **50**, s. 4249–4262. ISSN 1432-0894.
- LHOTKA, O., KYSELÝ, J., FARDA, A., 2018b. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. **131**, s. 1043–1054. ISSN 1434-4483.
- LI, D., BOU-ZEID, E., 2013. Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, roč. **52**, s. 2051–2054. ISSN 1558-8424.
- MIRALLES, D. G., TEULING, A. J., VANHEERWAARDEN, C. C., VILA-GUERAU DE ARELANO, J., 2014. Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation. *Nature Geoscience*, roč. **7**, s. 345–349. ISSN 1752-0908.
- NĚMEC, L., 2012. Český teplotní rekord – Dobřichovice 20. 8. 2012. *Meteorologické zprávy*, roč. **65**, s.145–148. ISSN 0026-1173.
- OTTO, F. E. L., MASSEY, N., VANOLDENBORGH, G. J., JONES, R. G., ALLEN, M. R., 2012. Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave. *Geophysical Research Letters*, roč. **39**. ISSN 1944-8007.
- PFAHL, S., WERNLI, H., 2012. Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub-)daily time scales. *Geophysical Research Letters*, roč. **39**. ISSN 1944-8007.

- PREIN, A. F., LANGHANS, W., FOSSER, G., FERRONE, A., BAN, N., 2015. A review on regional convection-permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges. *Reviews of Geophysics*, roč. **53**, s. 323-361. ISSN 1944-9208
- ROBINE, J.-M., CHEUNG, S. L. K., LE ROY, S., VAN OYEN, H., GRIFFITHS, C. et al, 2008. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes rendus biologiques*, roč. **331**, s. 171–178. ISSN 1631-0691.
- RUSSO, S., SILLMANN, J., FISCHER, E. M., 2015. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the future. *Environmental Research Letters*, roč. **10**. ISSN 1748-9326.
- STOTT, P. A., CHRISTIDIS, N., OTTO, F. E. L., SUN, Y., VANDERLINDEN, J.-P. et al, 2016. Attribution of extreme weather and climate-related events. *WIREs Climate Change*, roč. **7**, s. 23–41. ISSN 1757-7780.
- VALERIÁNOVÁ, A., CRHOVÁ, L., HOLTANOVÁ, E., KAŠPAR, M., MÜLLER, M. et al, 2017. High temperature extremes in the Czech Republic 1961–2010 and their synoptic variants. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. **127**, s. 17–29. ISSN 1434-4483.
- WARD, K., LAUF, S., KLEINSCHMIT, B., ENDLICHER, W., 2016. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, roč. **569–570**, s. 527–539. ISSN 0048-9697.
- Lektoři (Reviewers): RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.
Ing. Jan Doležal*

INFORMACE – RECENZE

KDYŽ SE BLÝSKÁ NA ČASY – Počasí a klima u nás i ve světě

Tatana Míková, Alena Zárybnická, Pavel Karas, Michal Žák, 2018. Brno: CPress se společností Albatros Media, a. s. 240 stran, ISBN 978-80-264-2304-1

Když se před 12 lety zničehonic objevila na knižním trhu (mimo jiné zásluhou České televize) publikace *Skoro jasno*, jistě se nez radovali jenom televizní diváci, kteří předtím pozorně sledovali třináctidílný vzdělávací cyklus stejného názvu, ale i mnozí další zájemci o meteorologii a přírodní vědy vůbec; starší z nich se dříve určitě zajímali o podobně zaměřený seriál Jiřího Grygara *Okna vesmíru dokořán*. Nebylo divu, protože televize svými technickými prostředky má jedinečnou možnost autenticky představit probíranou problematiku a ponořit do ní diváka. Nemůže však, a snad ani nechce, nahradit dobře a poutavě napsanou knihu, ke které se čtenář může vrátit kdykoliv, zatouží-li po poznání a utřebení svých představ. Proto je žádoucí, aby z vysílaných vzdělávacích pořadů vycházela i tištěná díla. A v meteorologii právě takovým spisem byla knížka *Skoro jasno* napsaná trojicí zkušených televizních moderátorů P. Karasem, A. Zárybnickou a T. Míkovou.

Její úspěch a současně nedostatek obdobné literatury na domácím trhu přivedl uvedené odborníky k nápadu sepsat další pojednání sice podobného zaměření, ale většího tematického rozsahu a s četnými novými poznatky, které první kniha nestačila zahrnout. Tak přišla koncem roku 2018 na svět kniha *Když se blýská na časy* s podnázvem *Počasí a klima u nás i ve světě*. Vzhledem k jejímu obsahu a celkovému uspořádání ji rozhodně nelze považovat za druhé vydání ranějšího díla, jak by se leckdo mohl domnívat, je opravdu prací samostatnou. Autoři původní tvůrčí kolektiv rozšířili o čtvrtého člena, meteorologa Michala Žáka, napůl moderátora předpovědi počasí v České televizi, napůl vysokoškolského učitele, a udělali dobře. Z textu však nelze poznat autorský podíl jednotlivých členů kolektivu.

Recenzovaná kniha je účelně rozdělena do 16 nečíslovaných kapitol a mnoha podkapitol, takže je přehledná. Z názvů kapitol, z nichž některé uvedu, je zřejmé i pojetí knihy a míra popularizace vědy: *Jak je teplý vzduch*, *Proč fouká*



vítr, *Slunce svítí a hřeje*, *Numerické modely a aplikace ČHMÚ*, *Klima kolem nás*, *Počasí ve staletích*, *Počasí na vaší zahradě i na druhém konci světa*, totéž platí o názvech podkapitol *Proč může 100letá voda přijít za rok znovu*, *Kryštof Kolumbus a hurikán*, *Za studenou frontou se může oteplít a za teplou ochladit*, *Něžné jméno ničivého počasí*, *Není monzun jako monzun*, *Chcete mít doma vlastní meteorologickou stanici?* Většinu kapitol uzavírá tzv. *Nebeská galerie*, což je navazující soubor fotografií s výstižnými popisky, převzatý především z fotobanky Shutterstock.

Výběr témat knihy je výborný, objem přinášených faktů je veliký. Již při letmém prolistování zjistíme, že kniha tematicky pokrývá celý rozsah meteorologie a klimatologie a zachází i za jejich hranice (hydrologická předpověď, povodně a sucha, kvalita ovzduší). Text je věcně správný (jak jinak, když je dílem odborníků?), napsán zajímavým, srozumitelným, místy uvolněným a vynalézavým způsobem (hustší vzduch stéká do údolí, a otevřeme-li okno, táhne nám na nohy apod.). Popularizace vědeckých znalostí je přiměřená zájemcům různého vzdělání, aby si každý čtenář z knihy mohl odnést co nejvíc. Je zřejmé, že se autoři dlouholetým každodenním kontaktem s diváky a posluchači naučili hovořit a psát tak, že dovedou zaujmout a že jim lidé rozumějí. To v odborném písemnictví není samozřejmé, psát pro „sprostý lid“ není o nic snazší, než psát pro vědce. K přínosům díla patří anglické názvy základních pojmů probíraných v jednotlivých kapitolách.

Kniha je veskrze moderní, jak čtenář pozná (nahodile vybírám) z pasáží o numerických modelech pro předpověď počasí, družicových systémech, přenosových pásech uvnitř tlakových níží, propadech studeného vzduchu (downburst) v souvislosti s leteckou dopravou, o regulačních opatřeních v oblasti znečištění ovzduší. O tom, že jde o dílo vysoce aktuální, svědčí v knize uvedené nejnovější národní a světové extrémní hodnoty meteorologických prvků, novelizované mezinárodní třídění oblaků z roku 2017, nebo přesně datované zajímavosti z posledních roků, např. vysoká rychlost tryskového proudění nad Českem kolem 300 km/h z 29. října 2017, či snímky proudící lávy, které pořídila družice Sentinel 2 ve dnech 23. května a 7. června 2018. Sem patří i návrh označení supertropický den.

Jako protiklad čerstvých informací působí skvělé historické exkurzy v četných kapitolách, jež vykreslují vývoj lidského snažení a poznání a těší zvláště dějepisce meteorologie. Dovídáme se, jak bylo objeveno tryskové proudění, vynalezený geostacionární družice, jakými vývojovými fázemi prošel model ALADIN. Pěkně se čte báje o Ikarově neúspěšném letu i pasáž o představách lidí v dobách, kdy počasí ještě určovali bohové, Aristoteles rozuměl všemu a vyplatilo se znát pranostiky. Text provázejí stovky výmluvných fotografií, grafů a tabulek, z nichž vybírám seznam největších povodní, které zasáhly Česko, tabulky rekordů tropických cyklon, projevů počasí při přechodu atmosférických front, druhů meteorologických stanic a přehled morfologické klasifikace oblaků. Na tomto místě musím vyjádřit radost z popisku fotografie na str. 33 „Důsledky silného větru na Kozlově“. Nejde o vítr, ale o slovo důsledky, které se konečně objevilo v meteorologii a klimatologii, protože jsem měl již obavy, že podobně jako pojem následky je zcela zničilo či převálcovalo silně nadužívané a nemilé slovo dopad.

Často slyšíme, že žáky to dnes ve škole nebaví, že jim připadá nezajímavá a fádni, že přírodovědné předměty oni vůbec „nemusejí“, a to se projevuje i v malém zájmu o studium některých oborů na vysokých školách. Domnívám, že kdyby učitelé fyziky a geografie měli k dispozici knížku *Když se blýská na časy*, nemuseli by pro zajímavé podněty a látku chodit daleko. Copak může mladé lidi nezajímat ochrana před bleskem, ultrafialovým zářením, k čemu je matematika, meteorologie a informatika v prognózních modelech a superpočítačích anebo alespoň co provádějí červení skřítci a elfové na obloze a jak je to s počasím v cizině, když svět je dnes otevřený a létá se na Kanáry a do Dubaje; mimochodem kapitola o podnebí v různých částech světa je napsána také výtečně.

Když v závěru recenze napíši, že žádné, což znamená i úspěšné dílo se nevyhne nedostatkům, budu se opakovat, ale není tomu jinak ani v posuzované knize, přestože většina vad za moc řečí nestojí. Samozřejmě mi hodně vadí, že autoři ani v tištěné formě neupustili od množného čísla u slova teplota (častěji by měli spíš doplňovat na teplota vzduchu) a stejně jako v televizním vysílání používají výraz teploty (nárůst teplot, vysoké teploty), přestože stavovou veličinou je teplota v jednotném čísle (při televizní relaci po zaslechnutí výrazu maximální teploty – kolik jich je? pět? deset? – odcházím od obrazovky, ale knížku odkládat nechci a trpím). Jen si říkám s Karlem Hynkem Máchou „Dalekát cesta má! Marné volání!!!“ Ještě nešťastnější je věta mrazivé teploty při nízkých vlhkostech (str. 8). Drobných nedostatků odborných a stylistických je více, např. ostrov chladu se nevyskytuje v terénních nerovnostech, ale ve sníženinách, vzduch neproudí ve směru hodinových ručiček, nýbrž ve směru pohybu hodinových ručiček, typ oblaků, správné druh oblaků, základní rozdíl mezi deštěm a přeháňkou není v druhu oblačnosti, spočívá v jejich charakteru, opakuje se nešikovně vyjádření celá řada teplotních rekordů, pořekadel, velkých měst aj. místo mnohé, četné rekordy atd., někde se píše cyklona, jinde cyklóna. Škoda, že při zmínce o Beaufortově stupnici větru nebyl zdůrazněn rozdíl mezi silou větru a rychlostí větru, který přehlíží i studenti vysokých škol.

Všechny malé neřesti by byl celkem snadno odstranil odborník, který by nebyl zatížen tvorbou knihy a měl tudíž nadhled. Neudělal by to ovšem ze dne na den, trvalo by to, a já mám neověřený dojem, že právě čas byl nepřítel spisovatelů, že kniha byla dokončována ve spěchu. Usuzuji tak dílem z toho, že jí chybí předmluva, úvodní slovo, zkratka první lidské

oslovení čtenářů, které koneckonců ani nemuselo vzejít z pera autorů (do předchozího spisu *Skoro jasno* velmi pěknou předmluvu napsal Petr Dvořák), dílem z toho, že rejstřík je neúplný, jako by pojmy do něj byly zařazeny nahodile. Obsahuje např. pojmy Czechglobe, medikán a ventilační index, ale chybí výrazy tlaková níže, tlaková výše, cyklona, anticyklona, bouřka, klima, medardovské počasí, meteorologický radiolokátor, oko cyklony, supertajfun a mnoho dalších, které se v díle vyskytují. (Pojmy jsou rozumně seřazeny podle přirozeného slovosledu, např. tepelný ostrov, solární konstanta, nikoliv ostrov tepelný, konstanta solární.) Víím, že rejstřík je pracná a zdouhavá záležitost, ale rozsáhlejší kniha nabitá odbornými pojmy pořádný rejstřík potřebuje. Mohl ji také prospěšně uzavírat seznam doporučené vědecké i další meteorologické literatury.

Přes kritické připomínky jsem názoru, že recenzovaná kniha je na vysoké odborné i popularizační úrovni a že by neměla chybět ve školních i soukromých knihovnách. Žádnou zdařilejší českou meteorologii pro všechny neznám.

Literatura:

KARAS, P., ZÁRYBNICKÁ, A., MÍKOVÁ, T., 2007. Skoro jasno. Průvodce televizní předpovědi počasí. Praha: Česká televize, 208 s., ISBN 978-80-85005-78-3

Karel Krška

KONFERENCE HOSPODAŘENÍ S VODOU V KRAJINĚ

Ve dnech 13. a 14. června 2019 se uskutečnila Konference Hospodaření s vodou v krajině v Kongresovém a kulturním centru Roháč v Třeboni.

Zaměření konference, jak již název napovídá, se věnovalo tématu aktuálnímu nejen v roce 2018, ale již několik posledních pár let – extrémní projevy sucha, nedostatkem srážek a následně vody v krajině. Je nutné hledat cesty, jak ovlivnit fáze oběhu vody v naší krajině, jak napravit negativní zásahy člověka, ale také jak dalším předcházet, abychom měli v naší krajině dostatečné množství vody. Proto je potřeba věnovat pozornost podstatě výskytu povodní, sucha i zásahů do krajiny, vyvodit závěry a stanovit komplexní řešení. Předání nejnovějších poznatků bylo cílem konference.

Program začal plenárními přednáškami:

- Šiška, B., Žilinský, M., Zuzulová, V.: Sucho a vegetačné obdobie na Slovensku v podmienkach klimatickej zmeny
- Čermák, J.: Zahraniční trendy výzkumu a inovací ve vodním hospodářství



Konference Hospodaření s vodou v krajině se konala 13. a 14. 6. 2019 v Kongresovém a kulturním centru Roháč v Třeboni. Foto: H. Stehlíková



Součástí programu byla i posterová sekce, která se konala druhý den konference. Foto: H. Stehlíková.

- Kulhavý, Z.: Představení iniciativy k obnově vodních družstev v podmínkách ČR
- Adam, Š., Reháč, Š., Takáč, J.: Možnosti optimalizácie úrod vybraných plodín závlahami

A pak již následovaly jednotlivé sekce, které byly rozděleny do čtyř kategorií: Vodní hospodářství, Hydrologie a hydropedologie, Meliorace a Dynamika klimatu. Neméně zajímavá byla také posterová sekce, která se konala v dopoledních hodinách druhého dne konference.

Po skončení odborné části bylo možné se zúčastnit exkurze do státního zámku Třeboň a do Domu přírody Třeboňska, který provozuje Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky.

Hana Stehlíková

KONFERENCE O STATISTICKÉ KLIMATOLOGII

Ve dnech 24. 6. až 28. 6. 2019 se v Toulouse ve Francii konalo již 14. setkání klimatologů, meteorologů a statistiků na konferenci „The 14th International Meeting on Statistical Climatology“ (IMSC). Tyto akce jsou pořádány každé 3 roky již od roku 1979 a dávají prostor pro debatu mezi statistiky na straně jedné a klimatologů, meteorologů, popřípadě dalšími vědci příbuzných oborů na straně druhé. Letošní konference byla organizována Výborem IMSC (the IMSC Steering Committee) a podpořena několika dalšími organizacemi, zejména francouzskou národní meteorologickou službou Meteo France, v jejíž budově se akce konala.

Pro zajímavost, konference se konala za extrémně teplého počasí, kdy v přílivu velmi teplého vzduchu původem z Afriky, který proudil na JZ Evropy, byla dne 28. 6. 2019 překonána nejvyšší teplota, která kdy byla naměřena na území Francie. Poprvé byla na území tohoto státu naměřena teplota vyšší než 45 °C. Nový absolutní rekord s hodnotou 45,9 °C byl naměřen na stanici Gallargues-Le-Montueux v departementu Gard.

Příspěvky byly rozděleny do následujících 12 sekcí:

- Climate records: data homogenization, dataset creation, and uncertainty
- Interactions of weather and climate with human and natural systems
- Statistical issues working with large datasets and model outputs
- Space-time statistics for modeling and analyzing climate variability
- Weather/climate predictability and forecast evaluation
- Statistics for climate models, ensemble design, uncertainty quantification, model tuning
- Statistical and machine learning in climate science
- Long-term D&A and emergent constraints on future climate projections
- Attribution and analysis of single weather events
- Changes in extremes including temperature, hydrologic, and multivariate compound events
- Extreme value analysis for climate applications
- From global change to regional impacts, downscaling and bias correction

V příspěvcích se objevily užitečné informace o statistických metodách, které mohou být využity při zpracování extrémů v klimatologických řadách. Důraz byl kladen na nestacionaritu datových řad, kvůli které by se i pro analýzu extrémů měly používat nestacionární metody (např. nestacionární Generalized extreme value return levels nebo nestacionární Peaks-Over-Threshold model pro extrémní teploty a srážky). Byl prezentován například i balíček statistického softwaru R pro zpracování klimatických extrémů ClimexTremes (<https://cran.r-project.org/web/packages/climexTremes/index.html>).

Hodně příspěvků bylo věnováno klimatické změně, jejím dopadům (globálním i regionálním) a také snaze o posouzení současných extrémních jevů (například horká vlna 2013 v Evropě) právě v kontextu klimatické změny (je ta extrémní událost ještě „přírodní“, v rámci přirozené variability, nebo už je „antropogenní“ a lze ji přičíst klimatické změně?). Ve velmi zajímavém příspěvku J. Cattiauxe bylo prezentováno, jak důležitá je prostorově-časová definice události, kdy různé definice mohou způsobit různé interpretace jedné události a posouzení její extremity. To bylo demonstrováno na horké vlně v Evropě v létě 2003, kdy sezónní evropská teplota byla podle jedné studie zařazena už mezi studené extrémy po roce 2050, ale denní a lokální anomálie teploty zůstávají podle další studie horkou událostí i v roce 2100. Rozdíl je právě v prostorově-časové definici (sezónní/evropská versus denní/lokální).

Z hlediska dopadů klimatické změny byla v příspěvcích vidět snaha popisovat události více komplexně, protože to je to, co uživatelé potřebují. Velkou výzvou i pro klimatology jsou takzvané „compound events“. Ty jsou definovány jako kombinace vzájemně reagujících fyzikálních procesů (pro různě



Konference o statistické klimatologii se konala 24. 6. až 28. 6. 2019 v Toulouse ve Francii. Foto: S. Kliegrová.

ná prostorová i časová měřítka, které vedou k významnému dopadu („hazards“ – záplavy, lesní požáry, sucho, horké vlny). Například na vzniku sucha se podílí srážky, výpar, historický vývoj půdní vlhkosti a teplota. Tyto jednotlivé „climatic drivers“ však nejsou nezávislé, proto odhady pravděpodobnosti výskytu „hazards“ jsou ještě složitější.

Zásadní pro klimatické modelování je kvalita klimatických modelů. Mezinárodní projekt CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) od roku 1995 koordinuje experimenty klimatických modelů, v současnosti probíhá již fáze 6 (<https://www.wcrp-climate.org/index.php/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>). Bylo konstatováno, že kvalita modelových výstupů se zlepšuje, nicméně biasy a nejistoty stále jsou, a to zejména v extrémech. Problematické je postprocessing modelových výsledků, když jsou výsledky přizpůsobovány naměřeným hodnotám pro kontrolní klima, protože to může způsobit nekonzistenci mezi jednotlivými prvky a narušit fyzikální vazby těchto výsledků.

Pro názornější interpretaci dopadů klimatické změny pro uživatele je čím dál tím populárnější vytváření tzv. „storylines“,

fyzikálně založených scénářů dopadů zejména na regionální úrovni. Některé regionální klimatické dopady jsou totiž vázány přímo na atmosférickou cirkulaci, jejíž změny nemá smysl vyjadřovat pravděpodobnostně v rámci souboru klimatických modelů. Například T. G. Shepherd prezentoval „storylines“ pro úbytek srážek v chladné polovině roku ve Středomoří, kdy je nejprve zkoumáno polární oteplování, tropické oteplování a zesilování stratosférického víru v závislosti na zvyšování globální teploty vzduchu pro 32 modelů CMIP5. Různé kombinace těchto cirkulačních změn přináší různé dopady na srážky ve Středomoří, kdy kombinace velkého tropického oteplení a silného stratosférického víru znamenají největší modelovaný úbytek srážek. Je snaha se zaměřit na klimatické modely, které modelují atmosférické cirkulační systémy dobře, protože to může přinést podstatné zlepšení výsledků analýz pro regionální dopady klimatické změny.

Stanislava Kliegrová, Lenka Crhová

POČASÍ A ROSTLINY

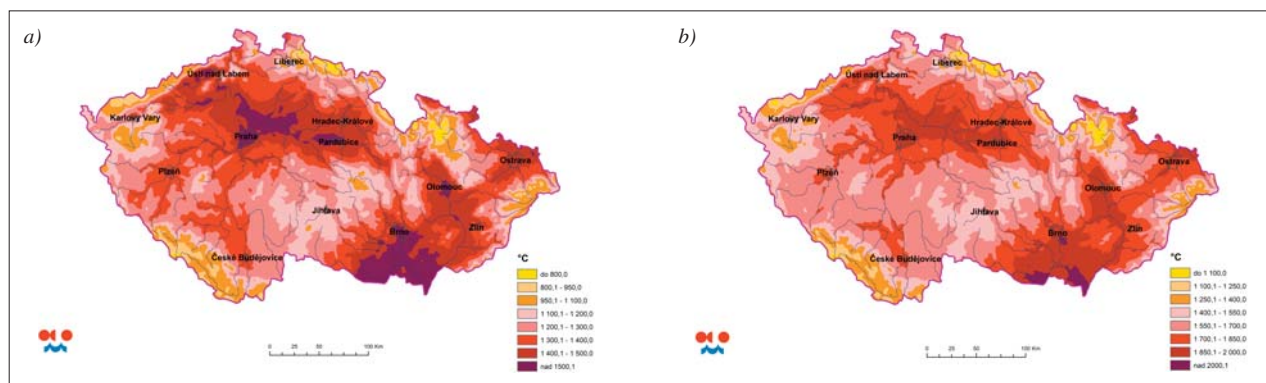
FENOLOGICKÝ VÝVOJ NA ÚZEMÍ ČR V ČERVENCÍ A SRPNU 2019

Od začátku roku se v průběhu července a srpna výrazně zvýšila suma efektivních teplot nad 5 °C, následující mapy zobrazují její vývoj od 1. 1. 2019 k 31. 7. a k 31. 8. 2019 (obr. 1). K 31. 7. 2019 se v nejteplejších lokalitách České republiky vyskytovaly hodnoty sum efektivních teplot nad 5 °C vyšší než 1 500,1 °C, a k 31. 8. 2019 se jednalo již o hodnoty nad 2 000,1 °C (např. v okolí Brna, Břeclavi a Mikulova).

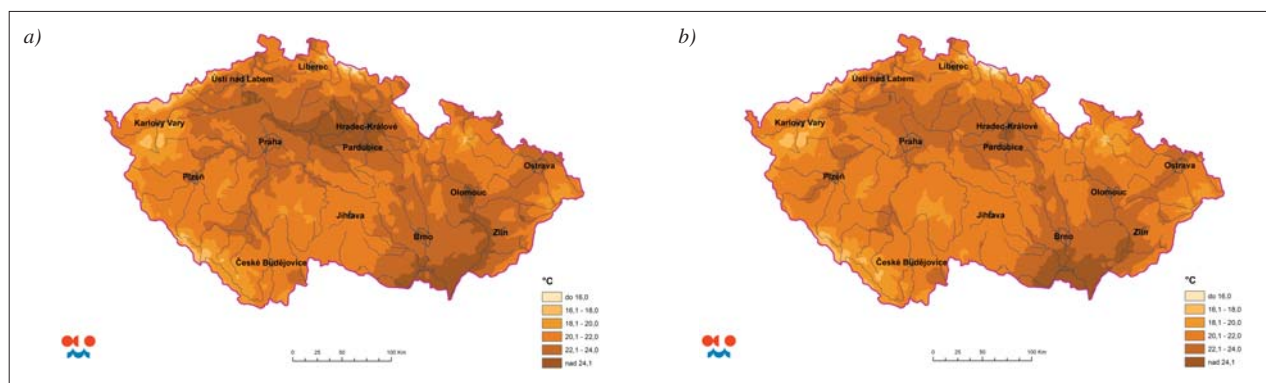
Jak se změnila průměrná denní teplota půdy v 10 cm v prů-

běhu měsíce července a srpna zobrazují mapy na obrázku 2. Na konci července a srpna byla průměrná denní teploty půdy v hloubce 10 cm v některých lokalitách vyšší než 24,0 °C (např. v Polabské nížině a na jižní Moravě).

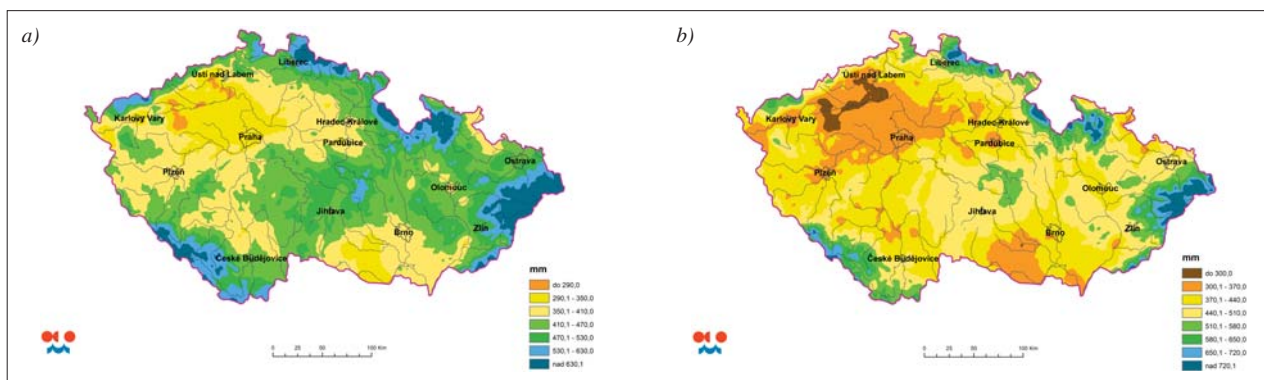
Kumulativní úhrn atmosférických srážek od 1. 1. 2019 k 31. 7. a 31. 8. je vykreslen na obrázku 3. V srpnu byl na některých lokalitách severozápadních Čech kumulativní úhrn srážek menší než 300,0 mm a na části území západních, středních, východních a jižních Čech a na jižní Moravě byl v rozmezí 300,1 až 370,0 mm.



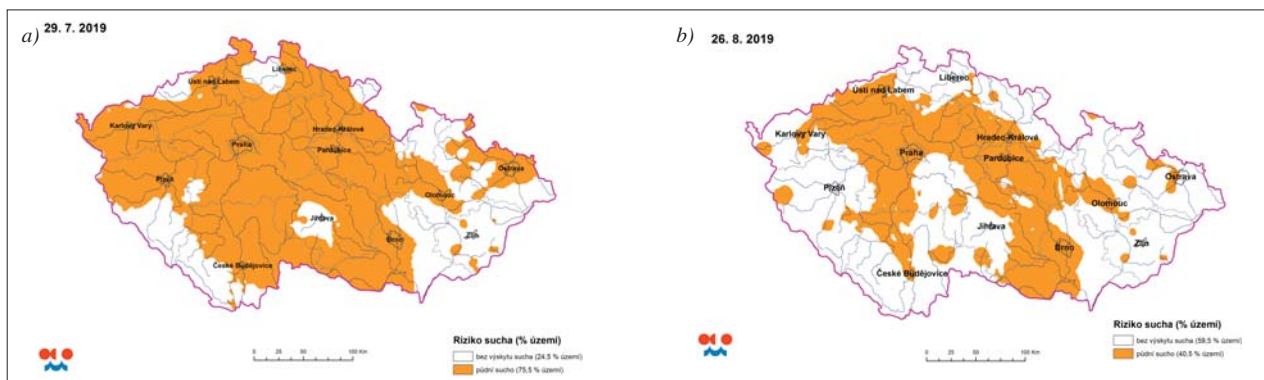
Obr. 1 Suma efektivních teplot vzduchu nad 5 °C k 31. 7. 2019 (a) a k 31. 8. 2019 (b).



Obr. 2 Průměrná denní teplota půdy v hloubce 10 cm dne 31. 7. 2019 (a) a 31. 8. 2019 (b).



Obr. 3 Kumulativní úhrn srážek k 31. 7. 2019 (a) a k 31. 8. 2019 (b).



Obr. 4 Míra ohrožení půdním suchem na území ČR 29. 7. 2019 (a) a 26. 8. 2019 (b).

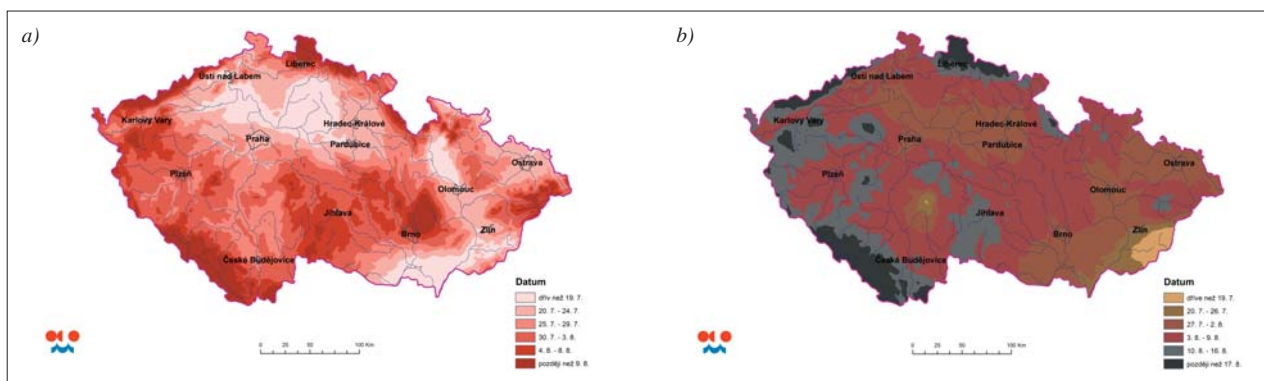
Míra ohrožení půdním suchem na území ČR ve vybraných dnech července a srpna 2019 je na obrázku 4. V červenci (29. 7. 2019) bylo půdním suchem ohroženo více než 75 % území ČR, v srpnu (26. 8. 2019) více než 40 % území ČR.

V průběhu července a srpna postupně nastoupilo nejprve fenologické plné léto (toto období je charakteristické dozráváním plodů jeřábu obecného a jabloně letní, dozrává angrešt, pozdní třešně a rané odrůdy slivoní) a poté v srpnu začalo fenologické pozdní léto (v tomto období dozrává bez černý, kvete vřes, dozrávají ostružiny a letní hrušky).

Následující mapy představují zralost plodů jeřábu obecného a bezu černého (obr. 5). Oba dva druhy začaly dozrávat od třetí dekadý července. Plody jeřábu dozrávaly rychleji, na většině lokalit byly dozralé již v první dekádě srpna, plody bezu černého postupně dozrávaly až do druhé poloviny srpna. Bez černý dozrával ve srovnání s dlouhodobým průměrem

1991–2010 téměř o měsíc dříve, obvyklá doba pro jeho dozrání je od poloviny srpna do začátku září. A pro zajímavost uvádím, že plody bezu hroznatého dozrávají dříve než plody bezu černého, v letošním roce bez hroznatý dozrál od druhé poloviny června do poloviny července.

Dále jsou uvedeny některé zajímavé fenologické fáze, které nastaly v průběhu měsíce července a srpna: lípa srdčitá odkvetla na většině území v průběhu července, vřes obecný začal kvést na konci července, vrbka úzkolistá byla v červenci na většině území v plném květu a postupně začala od začátku srpna odkvětát. Dále začal dozrávat např. hloh obecný, habr obecný, líska obecná, svída dřín a svída krvavá. Vzhledem k probíhajícímu suchu začaly na části území některé druhy žloutnout již v průběhu srpna, např. javor klen, líska obecná, habr obecný, bez černý a hroznatý, vrba jíva, třešň ptačí, lípa srdčitá, jeřáb obecný, dub letní a trnovník akát.



Obr. 5 Zralost plodů jeřábu obecného (a) a bezu černého (b).



VEŘEJNÁ SPECIALIZOVANÁ KNIHOVNA ČESKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU

Specializovaná knihovna ČHMÚ je veřejnou knihovnou, s fondem zaměřeným na meteorologii, klimatologii, kvalitu ovzduší – imise, emise, hydrometeorologie, jakost vody, operativní hydrologie – hydrologické předpovědi, hydrologické služby, vodní bilance povodí řek a regionů a informační oblasti ochrany ovzduší.

Knihovní fond, který obsahuje 27 619 knihovních jednotek, 29 titulů zahraničních časopisů, 43 titulů českých časopisů, je průběžně doplňován.

Služby: Knihovnické, bibliografické, dokumentografické a rešeršní.

Spolupráce: NK ČR, Souborný katalog ČR, NTK ČR (elektronické časopisy, VPK) a další knihovny ČR i zahraniční (MVS, MMVS, výměna publikací).

biblio.chmi.cz

Kontakt: Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 412-Komořany, tel.: 244 032 733





VEŘEJNÁ SPECIALIZOVANÁ KNIHOVNA

Zahraniční časopisy
odebírané specializovanou knihovnou ČHMÚ – výběr:

BAMS – *USA*
Climatic Change – *Nizozemsko*
Danube Watch – *Rakousko*
ECMWF – *Velká Británie*
ICAO Journal – *Kanada*
Időjárás – *Maďarsko*
International Journal of Climatology – *Velká Británie*
Journal of Applied Meteorology and Climatology – *USA*
Journal of the Atmospheric Sciences – *USA*
Journal of Hydrology and Hydromechanics – *Slovensko*
Journal of the Meteorological Society of Japan – *Japonsko*
La Météorologie – *Francie*
Meteorologický časopis (Meteorological Journal) – *Slovensko*
Meteorologische Zeitschrift – *Německo*
Monthly Weather Review – *USA*
Promet – *Německo*
Przegląd geograficzny – *Polsko*
Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society – *Velká Británie*
Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography – *Dánsko*
Tellus B: Chemical and Physical Meteorology – *Dánsko*
Vodohospodársky spravodajca – *Slovensko*
Weather – *Velká Británie*
Weather and Forecasting – *USA*
WMO Bulletin – *Švýcarsko*

biblio.chmi.cz

Kontakt: Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 412-Komořany, tel.: 244 032 723, 244 032 733