



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV  
CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

# METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

<i>Lucie Pokorná – Stanislava Kliegrová – Radmila Brožková – Petr Štěpánek – Petr Skalák – Michal Belda – Aleš Farda – Ladislav Metelka – Radan Huth: Regionální klimatický model ALARO-Climate, validace experimentu s rozlišením 25 km</i> . . . . .	33
<i>Michal Švec: Tryskové proudění a letecká doprava nad severním Atlantikem</i> . . . . .	44
<i>Zdeněk Bauer – Jana Bauerová – Pavel Lipina – Milan Palát: Vliv vývoje regionálního klimatu na ekosystém lužního lesa v letech 1951–2012. Část III. – byliny</i> . . . . .	50
<i>Jaroslav Fišák – Miroslav Tesař: Měření usazených srážek v České republice v letech 2011–2013</i> . . . . .	57

<i>Lucie Pokorná – Stanislava Kliegrová – Radmila Brožková – Petr Štěpánek – Petr Skalák – Michal Belda – Aleš Farda – Ladislav Metelka – Radan Huth: ALARO-Climate regional climate model, validation of experiment at 25 km horizontal resolution</i> . . . . .	33
<i>Michal Švec: Jet stream and air transport over the North Atlantic</i> . . . . .	44
<i>Zdeněk Bauer – Jana Bauerová – Pavel Lipina – Milan Palát: The impact of regional climate change on the floodplain forest ecosystem from 1951 to 2012. Part III. – Herbs</i> . . . . .	50
<i>Jaroslav Fišák – Miroslav Tesař: Deposited precipitation measurement in the Czech Republic from 2011–2013.</i> . . . . .	57

### Abstracting and Indexing:

- Meteorological and Geostrophical Abstracts

**Meteorologické Zprávy**, odborný recenzovaný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, čistotu ovzduší a hydrologii. Dvuměsíčník

**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

#### Redaktoři – Assistant Editors

O. Švarinová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

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

#### Redakční rada – Editorial Board

J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

J. Brechler, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika

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

M. Cahynová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 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

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. Pastířčák, Slovenský hydrometeorologický ústav, 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, Český hydrometeorologický ústav, 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: suvarinova@chmi.cz. Sazba a tisk: Agentura 3P, spol. s r. o. Rozšiřuje a informace o předplatném podává a objednávky přijímá Český hydrometeorologický ústav, SIS, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, iva.sieglerova@chmi.cz. Cena jednotlivého čísla 25,- Kč, roční předplatné 240,- Kč, včetně poštovného. 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: suvarinova@chmi.cz. Printed in the Agentura 3P, l.l.c. Orders and enquiries: Please contact Czech Hydrometeorological Institute, SIS, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic, iva.sieglerova@chmi.cz. Annual subscription: 48,- EUR (6 issues)

● ISSN 0026-1173

# METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

## Meteorological Bulletin

ROČNÍK 68 (2015)

V PRAZE DNE 30. DUBNA 2015

ČÍSLO 2

## REGIONÁLNÍ KLIMATICKÝ MODEL ALARO-CLIMATE, VALIDACE EXPERIMENTU S ROZLIŠENÍM 25 KM

Lucie Pokorná, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., Boční II 1401, 141 31 Praha

Stanislava Kliegrová, Český hydrometeorologický ústav, Dvorská 410, 503 11 Hradec Králové

Radmila Brožková, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha

Petr Štěpánek, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno; Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno

Petr Skalák, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha; Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

Michal Belda, Katedra fyziky a atmosféry, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

Aleš Farda, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno; Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha

Ladislav Metelka, Český hydrometeorologický ústav, Solární a ozonová observatoř, Hvězdárna 456, 500 08 Hradec Králové

Radan Huth, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., Boční II 140, 141 31 Praha; katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2

**ALARO-Climate regional climate model: Validation of experiment at 25 km horizontal resolution.** The ALARO-Climate regional climate model is based on the ALADIN cy36 numerical weather prediction model recently used for operational weather forecasting at the Czech Hydrometeorological Institute. The current model version includes improved prognostic schemes of cloud and precipitation microphysics and moist deep convection. The schemes are designed to run the model at resolutions up to a very fine mesh-size where moist deep convection is partly resolved, but with a minimal overhead in the computational costs. In this paper, we present a validation of the ALARO-Climate experiment at 25 km horizontal resolution driven by ERA-40 reanalysis for the period 1961–1990. The analysed simulation serves as a basis for the forthcoming experiment with 6 km resolution. The model is capable of reliably simulating seasonal sea level pressure fields in Europe and the annual cycle of air temperature and precipitation in the Czech Republic. However, precipitation amounts are overestimated in all months which are due to, among other reasons, a higher number of light precipitation days (up to  $1 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ ). Maximum and mean daily temperatures, and also daily temperature ranges, are generally lower in the model than observed. The simultaneous underestimation of temperatures and overestimation of precipitation may partly be associated with the overestimated low cloud cover, appearing in spring, summer, and autumn. However, this cannot explain the same deficiencies in winter when the simulated cloud cover is in an agreement with the driving reanalysis.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** ALARO-Climate – klimatický model regionální – srážky – teplota – validace

**KEYWORDS:** ALARO-Climate – regional climate model – precipitation – temperature – validation

### 1. ÚVOD

Jak uvádí 5. Zpráva IPCC (Flato et al. 2013), jsou pro modelování klimatu a tvorbu scénářů jeho budoucího vývoje nejčastěji používané globální cirkulační modely se spřaženým oceánem a atmosférou (coupled atmosphere-ocean general circulation models, AOGCM). Ty mimo jiné přispívají k porozumění dynamice jednotlivých složek klimatického systému a jejich vazeb. Horizontální rozlišení těchto modelů je ovšem příliš hrubé na to, aby dokázaly spolehlivě simulovat dokonce i základní klimatické charakteristiky v regionálním měřítku, zejména v oblastech s členitým terénem. Pro získá-

ní podrobnějších informací v regionálním měřítku se v současnosti používá několik postupů. Patří mezi ně verze modelů AOGCM s proměnlivým rozlišením, použití pouze atmosférických modelů s vysokým rozlišením, statistické metody pro výpočet přízemních prvků z výškových polí (tzv. statistický downscaling) a v neposlední řadě také regionální klimatické modely (RCM) spouštěné na omezené oblasti, tzv. dynamický downscaling (Rummukainen 2010). RCM pracují na omezené oblasti v síti bodů s hustším rozlišením a využívají informace z (neboli jsou vnořeny do) AOGCM. Výstupy kontrolních běhů a scénářů produkovaných globálními mode-

ly tedy slouží jako řídicí pole pro RCM v roli bočních okrajových podmínek. Mimo to mohou být jako řídicí použity také reanalýzy atmosférických polí, jež reprezentují pozorovanou skutečnost. V takovém případě, při znalosti míry spolehlivosti dané reanalýzy, dokážeme nejlépe rozpoznat chyby, jejichž zdrojem je daný RCM. Výstupy regionálních modelů nám díky malému kroku sítě uzlových bodů dokáží mimo jiné zpřesnit simulaci extrémních jevů (dokumentováno např. v Huntingford et al. 2003; Frei et al. 2003; Vautard et al. 2013; Walther et al. 2013), ovšem současně se může zhoršit simulace např. měsíčních a sezonních charakteristik (Rojas 2006; Jaeger et al. 2008; Rauscher et al. 2010; Suklitsch et al. 2011). Velký vliv na výslednou kvalitu simulace při použití vysokého rozlišení má i volba integrační oblasti (Farda et al. 2010; Lucas-Picher et al. 2008), schopnost modelu samotného pracovat ve zvoleném rozlišení (Torma et al. 2011), jakož i kombinace všech těchto vlivů (Skalák et al. 2014).

Většina regionálních modelů pracovala zpočátku na síti s horizontálním krokem sítě (tj. vzdáleností uzlových bodů) v řádu desítek km. Toto rozlišení je dostatečné pro oblasti s homogenním charakterem zemského povrchu a pozvolna se měnící nadmořskou výškou. Je-li však orografie členitá, ovlivňuje významně klima v jednotlivých lokalitách. Proto se v posledních několika letech přistoupilo k tvorbě modelů s velmi vysokým rozlišením, s krokem sítě 10 km i méně, např. v rámci evropského projektu CECILIA (Halenka 2008; www.cecilia-eu.org) a také na národní úrovni (Lucas-Picher et al. 2012; Walther et al. 2013). V České republice se tak děje v rámci projektu Vývoj regionálního klimatického modelu pro velmi vysoké rozlišení P209/11/2405 podpořeného GA ČR. Při vývoji nového modelu ALARO-Climate jsou využívány zkušenosti získané během vývoje modelu ALADIN-Climate/CZ (viz např. Huth et al. 2003, 2004), dochází také k začleňování nových schémat a fyzikálních parametrizací, souhrnně nazývaných „fyzika ALARO“. Jejich spolehlivost je přitom průběžně ověřována při operativním provozu numerického předpovědního modelu ALADIN, který je stále zdokonalován v rámci konsorcia patnácti států, kam významně přispívá i ČHMÚ. Obdobný proces vývoje a testování fyziky ALARO-0 v rámci RCM probíhá souběžně v Belgii (De Troch et al. 2013).

V první fázi projektu, který je popisován v tomto příspěvku, je model ALARO-Climate testován při rozlišení 25 km. Cílem je ověřit použití nových schémat s vynaložením minimálních početních nákladů. V následujících kapitolách představujeme jednu z posledních verzí modelu s krokem sítě 25 km, která bude sloužit jako referenční pro verze s vyšším rozlišením. V kapitole 2 popisujeme model ALARO-Climate, kapitola 3 obsahuje parametry zde prezentované verze modelu a popis použitých pozorovaných dat. Kapitola 4 stručně shrnuje validační techniky a konečně v 5. kapitole je prezentováno, jak model dokáže simulovat základní charakteristiky klimatu, tj. tlak, teplotu a srážky, na celé integrační oblasti a detailně v České republice. V diskusi (kapitola 6) jsou naznačeny možné příčiny výraznějších odchylek mezi modelovými a pozorovanými daty a v závěru jsou shrnuty poznatky o popisované verzi modelu ALARO-Climate.

## 2. MODEL ALARO-CLIMATE

Vývoj modelu ALARO-Climate se zaměřuje zejména na přechod z diagnostických na prognostické parametrizace fyzikálních procesů, které správně pracují při různém rozlišení modelu, tj. při různých vzdálenostech uzlových bodů výpočetní sítě až k dolní hranici 1 km (tzv. mezoměřítko gamma),

a přitom zachovávají výpočetní efektivitu. Spolehlivost fyziky ALARO, což je termín pro soubor nových parametrizací, je mimo jiné testována v globálním modelu ARPEGE, který disponuje proměnlivým horizontálním rozlišením, a proto zde parametrizace fyziky musí pracovat v různých měřítkách rozlišení. Podobně jako klimatický model ALADIN-Climate/CZ vyvinutý v rámci mezinárodního projektu ENSEMBLES (Hewitt and Griggs 2004), vychází i model ALARO-Climate z verze modelu ALADIN pro numerickou předpověď počasí (NWP). Ta ovšem doznala ve srovnání s verzí používanou pro projekt ENSEMBLES mnoha změn, jež se dotkly nejen fyzikálních parametrizací. Např. pro vertikální diskretizaci se používají konečné prvky namísto konečných diferencí a došlo též k podstatné změně v nastavení horizontální difuze, kterou se odstranil problém její nežádoucí interakce s orografií. V předchozích letech byla prověřována zejména stabilita nově začleněných zdokonalení.

Zde prezentovaná verze modelu ALARO-Climate obsahuje základní verzi fyziky, tzv. ALARO-0. Ta především obsahuje úplné prognostické zahrnutí srážkových procesů, včetně parametrizace hluboké konvekce 3MT (Modular, Multi-scale, Microphysics and Transport) popsané poprvé v Gerard et al. (2009). Schéma mikrofyziky oblaků a srážek je ve 3MT společně pro nerozlišenou hlubokou konvekci i pro modelem rozlišenou srážkové procesy. Používá čtyři prognostické hydrometeorologie (oblačná voda a led, déšť, sníh) a jeho podrobnější popis lze nalézt v Brožková (2013). Parametrizace radiačního přenosu vychází ze schématu ACRANEB (Action de Recherche Petite Echelle (ARPEGE) Calcul Radiatif avec Nebulosité, Ritter, Geleyn 1992), který byl upraven použitím metody Net Exchange Rate. Schéma turbulence a mělké konvekce používá prognostickou rovnici pro turbulentní kinetickou energii, ale funkce stability jsou tzv. Louisova typu. Parametrizace horizontální difuze SLHD (Váňa et al. 2008) je založena na využití vlastností interpolátorů semi-Lagrangeovské advekce. Napojení fyzikálních parametrizací a dynamického jádra modelu splňuje zachování energie a hmoty podle Catry et al. (2007).

Cílem našich aktivit je zkonstruovat model pro horizontální krok sítě menší než 10 km, včetně oboru rozlišení patřících do tzv. šedé zóny konvekce se srážkami, kdy je tato částice, ale nikoliv úplně, rozlišena a kdy je stále potřeba ji parametrizovat. Spodní hranici této šedé zóny nelze přesně určit a v současnosti se za ni považuje rozlišení kolem 1 km. Z pochopitelných důvodů nároků na výpočetní techniku nelze příliš uvažovat o skokovém přechodu rozlišení RCM z 10 km na 1 km, nehledě na to, že se v takto vysokém rozlišení problém šedé zóny přesouvá k procesům mělké konvekce a turbulence. Z hlediska investice do vývoje RCM je tedy lepší strategií ta, která byla zvolena pro ALARO-Climate. Je to schopnost reálného popisu fyzikálních procesů při různých velikostech početní mřížky tak, aby při vyšším rozlišení byly v řešení popsány odpovídající detailnější struktury cirkulace v atmosféře.

Kvůli vysokým početním nárokům jsou obecně modely s horizontálním krokem sítě menším než 10 km spouštěny velmi zřídka. Jejich přínos se očekává zejména při simulaci jevů ovlivněných orografií a extrémů s malým časovým a prostorovým měřítkem (Lucas-Picher et al. 2012; Feser et al. 2011). Z publikovaných výsledků lze vyčíst, že modely s vyšším rozlišením, a tedy dokonalejší parametrizací fyzikálních procesů, přesněji simulují plošné rozložení srážek a délku jejich trvání (Kendon et al. 2012) i sezonní úhrny srážek (Larsen



et al. 2013), zejména v orograficky členitém terénu (Chan et al. 2012). Na druhou stranu zmenšení integrační oblasti nutné pro udržení nízkých nákladů na výpočty při malém horizontálním kroku může vést naopak ke zhoršení některých srážkových parametrů: dochází k nadhodnocování simulovaných srážek, zhoršují se plošné korelace a je potlačena prostorová variabilita (Skalák et al. 2014).

Před samotným spuštěním verze modelu s jemným rozlišením je při zvolené strategii aplikací fyzikálních parametrizací ovšem nutné vyladit model tak, aby uspokojivě simuloval současné klima v hrubším rozlišení. Teprve potom má smysl použít a testovat verzi s vyšším rozlišením. Pro představu: výpočet jednoho roku experimentu s rozlišením 6 km trvá zhruba jeden týden na současné výpočetní platformě ČHMÚ. Než bude tedy možné prezentovat výsledky pro tento běh, zaměříme se na validaci verze modelu s rozlišením 25 km.

### 3. DATA

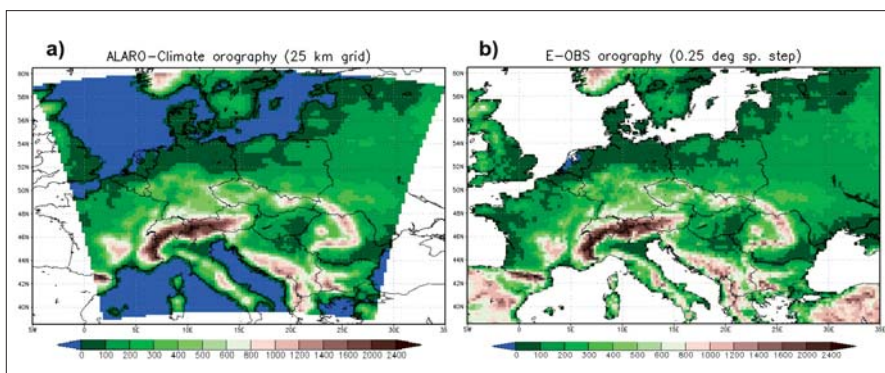
#### 3.1 Modelová data

Nastavení parametrů použité pro výpočet validovaného běhu s rozlišením 25 km je uvedeno v tab. 1. Simulace byla řízena reanalýzou ERA40 (Uppala et al. 2005) na výpočetní oblasti  $109 \times 109$  uzlových bodů a validována na evropské testovací oblasti (doména střední velikosti nad Evropou) o velikosti  $93 \times 93$  uzlových bodů (obr. 1a). Pro validaci byla použita denní data za celé simulované období 1961–1990.

#### 3.2 Evropská pozorovaná data

K porovnání srážkových a teplotních charakteristik mezi modelem a pozorovanými daty na celé validační oblasti byla použita databáze E-OBS, verze 8. Tato databáze denních pozorovaných dat v síti s pravidelným krokem  $0,25^\circ$  byla původně vytvořena v rámci projektu ENSEMBLES z časových řad z evropských stanic dostupných v databázi ECA&D (European Climate Assessment & Dataset project) a pokrývá evropský kontinent (Haylock et al. 2008; obr. 1b). Další validovanou charakteristikou je tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře, který jsme porovnávali přímo s řídicí reanalýzou ERA-40. Orografie modelu a E-OBS se v zásadě shodují, E-OBS má ovšem zonálně vyšší rozlišení a její body v oblasti Alp mají vyšší nadmořskou výšku v porovnání s nadmořskou výškou uzlových bodů v modelu.

Z důvodu odlišného rozložení gridových bodů v modelu a v E-OBS byla modelová data převedena bilineární interpolací na síť E-OBS. Obě databáze byly vzájemně vymaskovány tak, aby srovnání probíhalo na stejné množině uzlových bodů. I přes určité rozdíly mezi orografiemi modelu a E-OBS nebyla při srovnání hodnoty teploty aplikována korekce na rozdíl v nadmořské výšce.



Obr. 1 Orografie modelu ALARO-Climate v rozlišení 25 km (a) a dat E-OBS (b).

Fig. 1. Orography of the ALARO-Climate model at 25 km resolution (a) and of the E-OBS dataset (b).

Tab. 1 Parametry analyzovaného běhu modelu ALARO-Climate.

Table 1. Parameters of the analyzed run of the ALARO-Climate model.

Validační oblast	0–30 E, 40–60 N
Velikost domény netCDF	$93 \times 93$ bodů
Horizontální rozlišení	25 km
Počet hladin	43
Časový krok výpočtu	15 min
Časový krok výstupu GRIB	6 h
Časový krok výstupu netCDF	1 den
Délka spin-up integrace	1. 1. 1960–31. 12. 1960
Délka integrace pro validaci	1. 1. 1961–31. 12. 1990

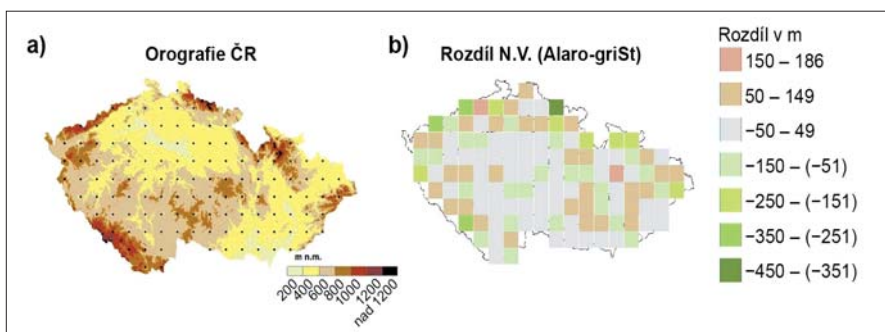
#### 3.3 Pozorovaná data pro Českou republiku

Pro detailní validaci modelu na území ČR byla použita upravená staniční data. Časové řady jednotlivých prvků byly nejprve podrobeny testování kvality dat použitím softwaru ProClimDB (Štěpánek 2010). Po opravě chyb byly řady homogenizovány použitím několika statistických testů a různých referenčních řad. Postup testování homogenity popisuje například Štěpánek et al. (2009) nebo Štěpánek et al. (2011b). Homogenizace probíhala do minulosti, tzn. že poslední úseky časových řad se shodují se skutečností. Oprava nehomogenit byla provedena přímo pro denní údaje. Pro každou stanicí byly dále pomocí geostatistických metod doplněny chybě-

Tab. 2 Počty uzlových bodů v intervalech podle nadmořské výšky.

Table 2. Numbers of gridpoints binned by elevation.

Nadmořská výška uzlových bodů	Model ALARO	Databáze griSt
< 400 m n. m.	53	56
400–800 m n. m.	69	63
> 800 m n. m.	1	5



Obr. 2 Rozložení uzlových bodů s horizontálním krokem 25 km na mapě reálné orografie České republiky (a) a rozdíl v nadmořské výšce gridových bodů mezi modelem ALARO-Climate a databází griSt (b).

Fig. 2. Grid points at 25 km horizontal resolution on the map of real orography of the Czech Republic (a) and differences in altitudes between the ALARO-Climate model and the griSt database (b).

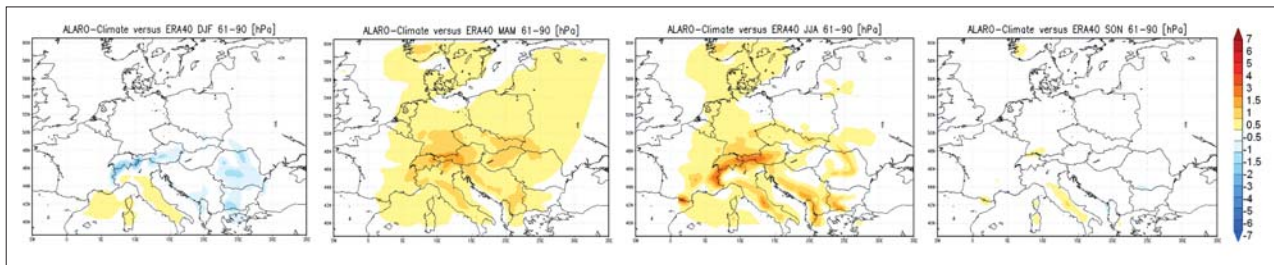
jící hodnoty. Z těchto homogenních a doplněných staničních řad byly nakonec interpolační metodou IDW (Štěpánek et al. 2011a) vypočteny nové technické řady ve vybraných bodech odpovídajících polohám uzlových bodů modelu. V našem případě byly pro výpočet technických řad použity údaje na nejbližších 6 stanicích s maximální vzdáleností 27 km a největší tolerancí nadmořské výšky 500 m, přičemž ale časové řady jednotlivých charakteristik na stanicích spolu musely statisticky významně korelovat. Nastavení parametrů výpočtů se liší pro každý meteorologický prvek. Údaje o teplotě a úhrnech srážek byly v jednotlivých uzlových bodech korigovány (standardizovány) pomocí regresních metod na skutečnou nadmořskou výšku.

Výše uvedeným postupem byly získány časové řady porovnaných prvků na území ČR, označené jako griSt, v síti 124 bodů, jež je shodná s modelovou sítí. Poloha uzlových bodů je zobrazena na obr. 2a, ze kterého lze vyčíst i orientační reálnou nadmořskou výšku bodů. Na obr. 2b je názorně ukázáno, ve kterých oblastech model nadhodnocuje (hnědá barva) a podhodnocuje (zelená barva) nadmořskou výšku

jednotlivých uzlových bodů. Celkové počty uzlových bodů s malou (do 400 m n. m.) a střední (v intervalu 400 až 800 m n. m.) nadmořskou výškou jsou v obou databázích víceméně srovnatelné (viz tab. 2), jejich umístění však není shodné. Bod reprezentující horské stanice (s nadmořskou výškou nad 800 m n. m.) je v modelu pouze jeden, a to na Šumavě nedaleko Churáňova, a jeho nadmořská výška je oproti skutečné nižší o 150 m. Pouze 31 uzlových bodů v modelu se při toleranci 20 metrů v nadmořské výšce shoduje se skutečností. Nejvyšší odchylky se objevují v Krkonoších, Krušných horách a Jeseníkách a dosahují u některých uzlových bodů i více než 350 m. Uvedené odlišnosti hrají významnou roli při interpretaci plošného rozložení sezonních odchylek jednotlivých prvků, k čemuž dále přihlížíme v diskusi výsledků.

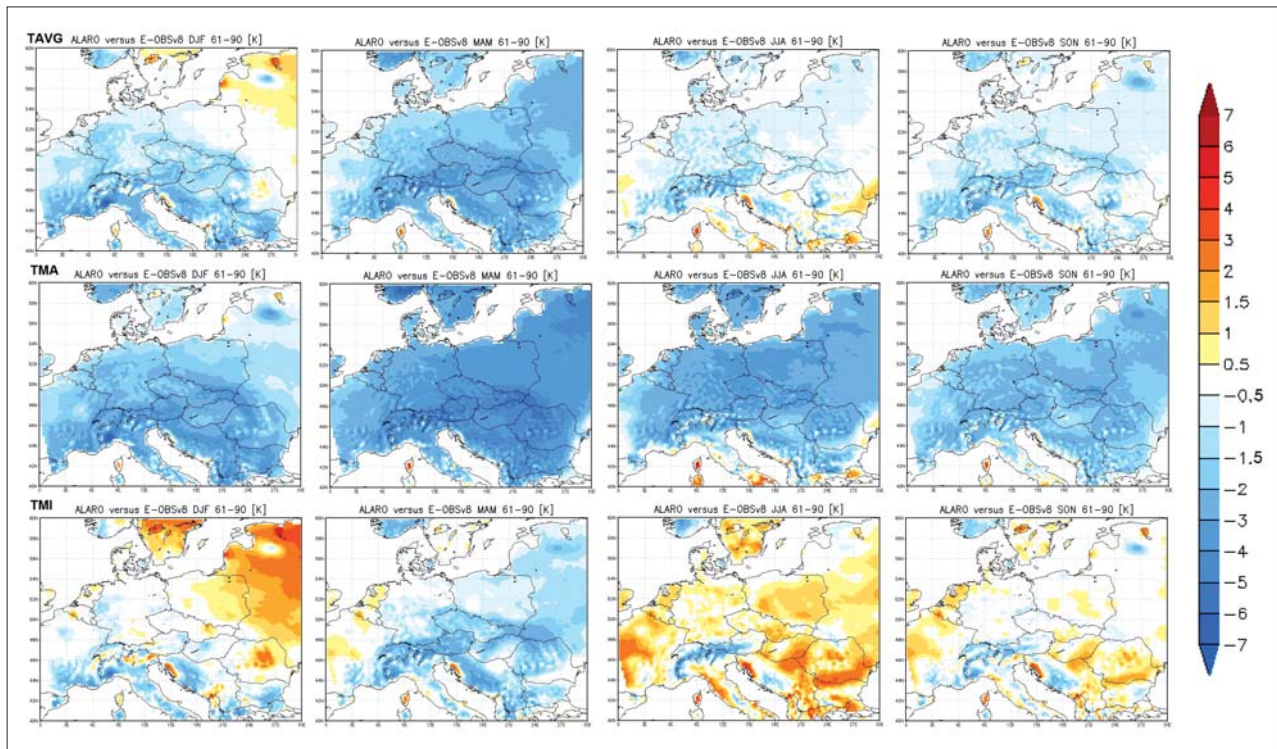
#### 4. VALIDAČNÍ METODY

Validace byla provedena pro období 1961–1990, tj. 30 let, na dvou různých oblastech: (i) evropská testovací oblast (obr. 1a) a (ii) Česká republika (obr. 2a). Pro testování schopnosti



Obr. 3 Odchylky tlaku vzduchu na hladině moře v modelu ALARO-Climite proti reanalýze ERA-40. Zleva: zima (DJF), jaro (MAM), léto (JJA) a podzim (SON).

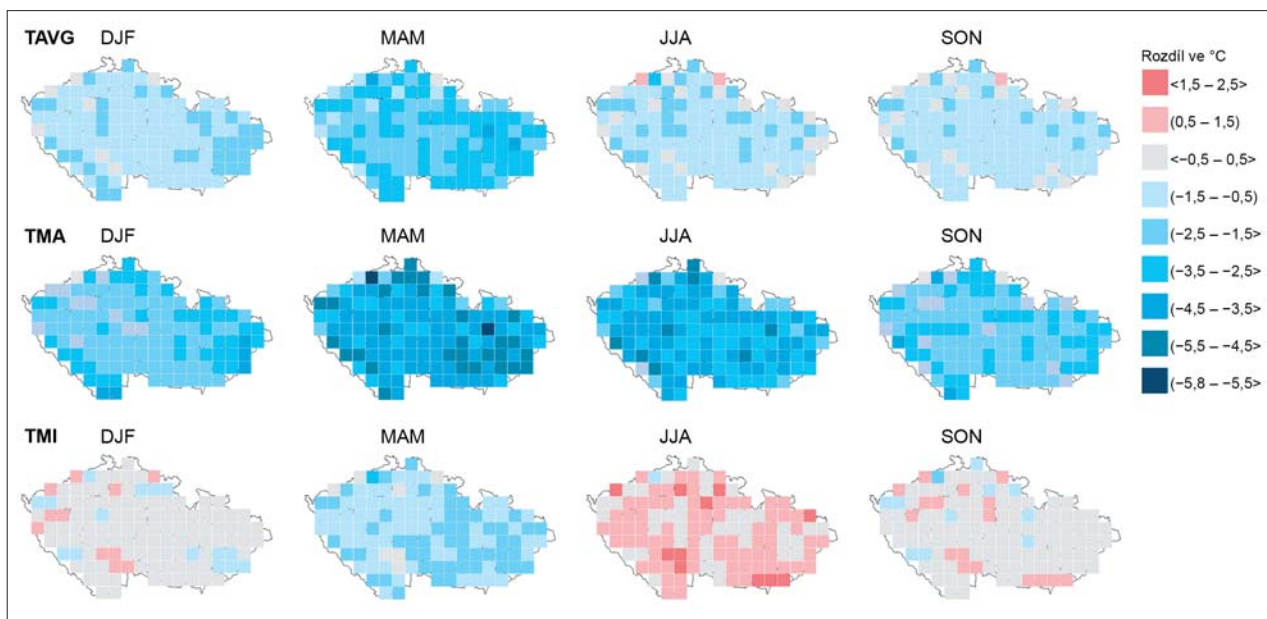
Fig. 3. Differences in sea level pressure between ALARO-Climite and ERA-40. From left: winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).



Obr. 4 Odchylky průměrné teploty vzduchu (TAVG), průměrné maximální teploty vzduchu (TMA) a průměrné minimální teploty vzduchu (TMI) v modelu ALARO-Climite od databáze E-OBS. Zleva: zima (DJF), jaro (MAM), léto (JJA) a podzim (SON).

Fig. 4. Differences in mean air temperature (TAVG), mean maximum air temperature (TMA) and mean minimum air temperature (TMI) between the ALARO-Climite model and the E-OBS database. From left: winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).





Obr. 5 Odchylky průměrné teploty vzduchu (TAVG), průměrné maximální teploty vzduchu (TMA) a průměrné minimální teploty vzduchu (TMI) v modelu ALARO-Climate od databáze griSt na území ČR. Zleva: zima (DJF), jaro (MAM), léto (JJA) a podzim (SON).

Fig. 5. Differences in mean air temperature (TAVG), mean maximum air temperature (TMA) and mean minimum air temperature (TMI) between the ALARO-Climate model and the griSt database over the Czech Republic. From left: winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).

modelu simulovat současné klima bylo použito více meteorologických prvků a charakteristik, ale zejména z důvodu omezeného rozsahu jsme zpracovali do tohoto článku následující: (i) přízemní tlak přepočtený na hladinu moře pro evropskou oblast; (ii) průměrnou, maximální a minimální denní teplotu vzduchu ve 2 m pro obě oblasti; (iii) úhrn srážek pro obě oblasti a (iv) počet dní se srážkami (se všemi měřitelnými, tj.  $\geq 0,1$  mm, se slabými od 0,1 do 1,0 mm včetně, a se silnými srážkami tj.  $\geq 10$  mm) pro ČR.

Pro výpočet měsíčních charakteristik v jednotlivých letech byly použity denní hodnoty výše uvedených prvků. Průměrné sezonní hodnoty teploty byly získány z průměrných měsíčních hodnot v jednotlivých sezonách za období 1961–1990 a průměrné sezonní úhrny srážek byly spočteny zprůměrováním příslušných měsíčních úhrnů za období 1961–1990 a jejich součtem.

Výsledky jsou prezentovány formou map, na kterých je plošně zobrazena odchylka modelu od pozorování. Mapy reprezentují rozdíl, resp. podíl (pro teplotu, resp. srážky) modelových a naměřených průměrných sezonních hodnot jednotlivých prvků a charakteristik. Pro oblast ČR je navíc model ALARO-Climate porovnán s databází griSt prostřednictvím krabicových grafů, s vyznačením mediánu, horního a dolního kvartilu a maximální a minimální hodnoty sledovaného prvku, demonstrujících roční chod vybraných prvků a to pro různé nadmořské výšky uzlových bodů.

## 5. VALIDACE MODELOVÝCH PRVKŮ A CHARAKTERISTIK

### 5.1 Tlak vzduchu na hladině moře

Sezonní přízemní tlaková pole v modelu se shodují s řídicí reanalýzou ERA40 velmi dobře (viz obr. 3). V zimě a na podzim se vyskytují jen minimální odchylky od sezonních průměrů tlaku na celé integrační oblasti. Na jaře a v létě model slabě nadhodnocuje hodnoty tlaku vzduchu na hladině moře téměř v celé oblasti, nejvýrazněji v alpské oblasti a ve státech

ležících u Středozemního moře, na jaře také na Slovensku a v Maďarsku. Přízemní tlak na území České republiky je slabě nadhodnocen na jaře a v létě, přičemž odchylka nepřesahuje 1,5 hPa.

Toto jednoduché porovnání sezonních tlakových polí ovšem není schopné poskytnout informaci, zda je správně simulován krátkodobý charakter cirkulace, anebo zda jsou malé sezonní odchylky důsledkem zprůměrování větších denních odchylek opačné polarity.

### 5.2 Průměrná, maximální a minimální teplota vzduchu ve 2 m

Výsledky validace na evropské oblasti (obr. 4) ukazují, že simulace modelu ALARO je zatížena zejména zápornými odchylkami průměrné a maximální teploty vzduchu (v průměru pro sezony o  $-0,6$  až  $-2$  °C, resp.  $-1,8$  až  $-3,3$  °C). Nejvíce model podhodnocuje maximální teplotu na jaře a v létě. Hodnoty minimální teploty vzduchu (s průměrnými sezonními odchylkami  $+0,1$  až  $-1,0$  °C), jsou místy dokonce nadhodnoceny, v zimě na severovýchodě oblasti a v létě zejména v jihovýchodní a jihozápadní části domény. Celkově lze konstatovat, že podhodnocené průměrné sezonní hodnoty teploty vzduchu do značné míry souvisejí s výrazně nižšími modelovanými průměry denních maxim teploty vzduchu ve srovnání s naměřenými, a v důsledku toho je i simulovaná amplituda teploty vzduchu většinou menší než pozorovaná.

Na území ČR model podhodnocuje průměrnou hodnotu teploty vzduchu ve všech sezonách (v průměru o  $-1,0$  až  $-2,5$  °C), nejvýrazněji na jaře (obr. 5). Menší podhodnocení v některých bodech a jeden až dva uzlové body s nadhodnocenou teplotou v létě a na podzim lze vysvětlit nižší nadmořskou výškou těchto bodů v modelu. Průměrná denní maxima v ČR jsou podhodnocena ještě výrazněji, v průměru pro sezony o  $-2,2$  °C až  $-4,0$  °C, a to pro všechny sezony, nejvíce na jaře a v létě. Průměrná denní minima v ČR jsou mode-

Tab. 3 Sezonní průměrné teploty a úhrny srážek v 24 gridových bodech s malou (< 400 m n. m.) a 27 bodech se střední (400–800 m a. s. l.) nadmořskou výškou v modelu ALARO a v databázi griSt a jejich rozdíl, resp. podíl. Zahrnuty jsou jen body s odchylkou modelové nadmořské výšky od skutečné  $\pm 50$  m.

Table 3. Mean seasonal temperatures and precipitation amounts at 24 gridpoints with a low (< 400 m a. s. l.) and 27 gridpoints with a moderate elevation (400–800 m a. s. l.) in the ALARO model and the griSt database and their differences or ratios, resp. Only gridpoints with elevation differences between the model and reality of  $\pm 50$  m are included.

Nadmořská výška	Zima			Jaro			Léto			Podzim		
	Model	griSt	Rozdíl	Model	griSt	Rozdíl	Model	griSt	Rozdíl	Model	griSt	Rozdíl
TAVG [°C]												
< 400 m n. m.	-2,1	-0,8	-1,2	5,9	8,5	-2,6	16,3	17,3	-1,0	7,8	8,7	-0,9
400–800 m n. m.	-3,2	-2,0	-1,2	4,3	6,8	-2,5	14,6	15,7	-1,1	6,4	7,4	-1,0
TMA [°C]												
< 400 m n. m.	-0,1	2,1	-2,2	9,7	13,8	-4,1	19,8	23,3	-3,5	11,3	13,4	-2,2
400–800 m n. m.	-1,4	1,1	-2,6	7,9	12,0	-4,2	18,0	21,7	-3,7	9,6	12,1	-2,5
TMI [°C]												
< 400 m n. m.	-4,0	-3,8	-0,2	2,1	3,4	-1,3	12,4	11,5	0,9	4,8	4,6	0,1
400–800 m n. m.	-5,0	-5,0	0	0,6	2,0	-1,4	10,8	10,1	0,7	3,5	3,5	0,0
Srážky [mm], Podíl model/griSt rozdíl [%]												
< 400 m n. m.	150	96	156%	185	138	134%	260	213	122%	167	121	138%
400–800 m n. m.	180	126	146%	220	158	139%	320	238	135%	190	140	136%

lována nejlépe ze všech uvedených hodnot teploty (průměrná odchylka pro sezony 0,8 až -1,4 °C), přičemž na jaře jsou modelem podhodnocena a v létě nadhodnocena.

Z uvedených obrázků pro ČR jsou patrné rozdíly v chování modelu mezi sezonami. Zatímco na jaře jsou podhodnoceny všechny typy teploty (průměrná, maximální i minimální), v létě lze vypořádat problém s modelováním denní amplitudy teploty vzduchu; maxima jsou podhodnocena a minima nadhodnocena, a simulovaná amplituda je tedy menší než pozorovaná. Mapy neukazují žádné jasné územní rozložení odchylek modelu vzhledem k pozorování, vyjma výraznějšího podcenění v oblastech významnější topografie, především na jaře a v létě.

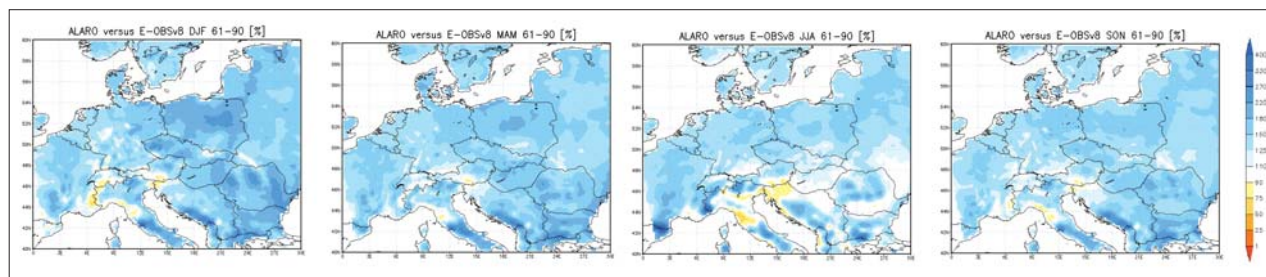
Porovnání uzlových bodů, které mají nadmořskou výšku odpovídající skutečnosti s tolerancí  $\pm 50$  m, ukazuje (viz tab. 3), že podhodnocení teploty je pro uzlové body s malou

a střední nadmořskou výškou srovnatelné a největší rozdíly mezi modelem a pozorováním nacházíme opět na jaře a také v létě pro maximální teplotu (i více než 4 °C). Slabě nadhodnocené jsou v modelu pouze minimální hodnoty teploty v létě, a to zřetelněji v nížinách.

### 5.3 Úhrn srážek

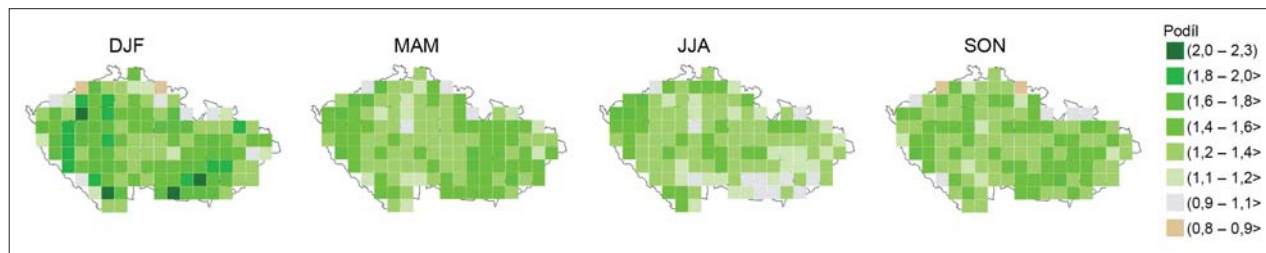
Úhrny srážek jsou v modelu ALARO-Climate obecně výrazně nadhodnoceny ve všech sezonách, na evropské oblasti v průměru o 70–80 mm, podle sezony relativně o 37 až 60 %. Podhodnocení se vyskytuje výjimečně, a to v horských oblastech (obr. 6).

V ČR jsou průměrné sezonní úhrny srážek nadhodnoceny ve všech sezonách v průměru o 30 až 50 % a téměř ve všech uzlových bodech (obr. 7). Podhodnocení o více než 10 % se objevuje pouze na podzim a v zimě ve 2 bodech s výrazněji nižší nadmořskou výškou modelu, než je skutečnost.



Obr. 6 Podíly průměrných úhrnů srážek (v %) mezi modelem ALARO-Climate a databází E-OBS. Zleva zima (DJF), jaro (MAM), léto (JJA) a podzim (SON).

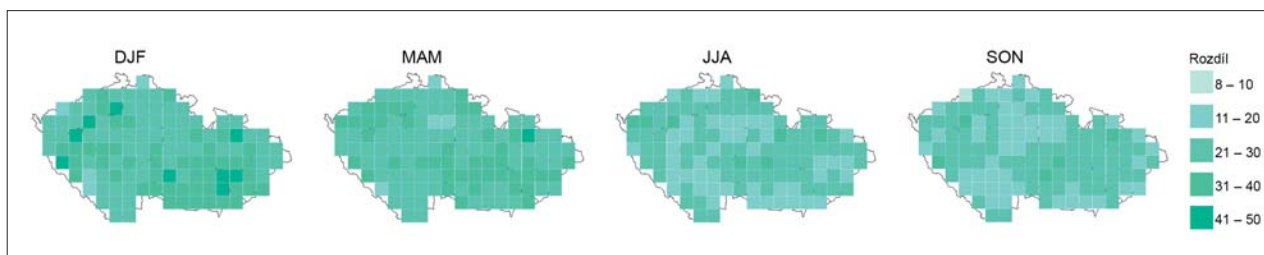
Fig. 6. Ratios of mean precipitation (in %) between the ALARO-Climate model and the E-OBS database. From left: winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).



Obr. 7 Podíly průměrných úhrnů srážek mezi modelem ALARO-Climate a databází griSt. Hodnota podílu menší/větší než 1 znamená podhodnocení/nadhodnocení srážek v modelu. Zleva: zima (DJF), jaro (MAM), léto (JJA) a podzim (SON).

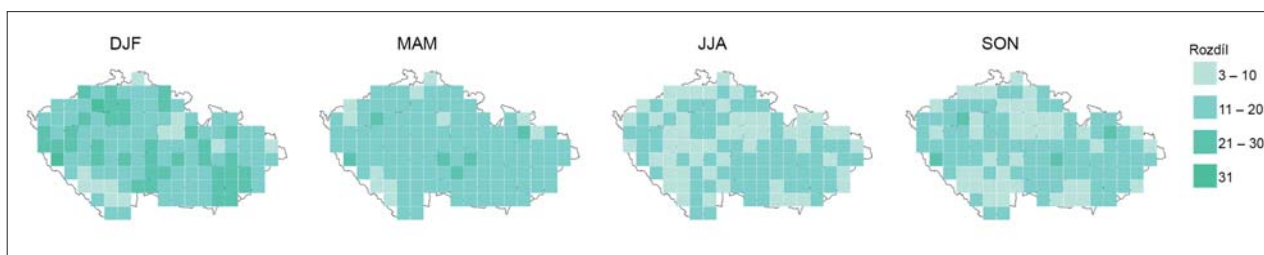
Fig. 7. Ratios of mean precipitation between the ALARO-Climate model and the griSt database. A magnitude with a ratio lower/greater than 1 indicates underestimation/overestimation of precipitation in the model. From left: winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).





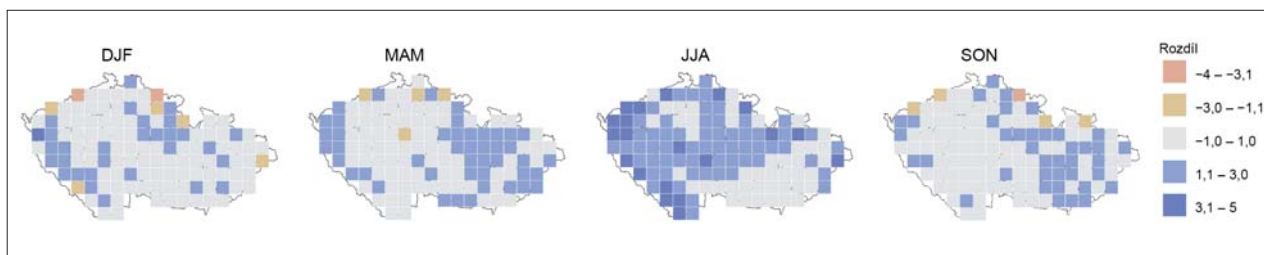
Obr. 8 Rozdíl v počtu dní se srážkami ( $\geq 0,1$  mm) mezi modelem ALARO-Climate a databází griSt. Zleva: zima (DJF), jaro (MAM), léto (JJA) a podzim (SON).

Fig. 8. Differences in the number of days with precipitation ( $\geq 0.1$  mm) between the ALARO-Climate model and the griSt database. From left: winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).



Obr. 9 Jako obr. 8, ale pro slabé srážky (0,1 až 1 mm).

Fig. 9. As in Fig. 8, except for light precipitation (0.1 to 1 mm).



Obr. 10 Jako obr. 8, ale pro silné srážky ( $\geq 10$  mm).

Fig. 10. As in Fig. 8, except for heavy precipitation ( $\geq 10$  mm).

#### 5.4 Počty dní se srážkami

Na obr. 8 jsou zobrazeny rozdíly v počtu dní se srážkami (dny s úhrnem 0,1 mm a větším) mezi modelem a pozorováním, které ukazují, že model nadhodnocuje počet dní se srážkami ve všech ročních obdobích, v průměru o 22 až 30. V zimě a na jaře se ve většině uzlových bodů objevuje v modelu o 21 až 40 dní se srážkami víc, než bylo pozorováno, a objevují se i body s více než 40 srážkovými dny navíc. V létě a na podzim je situace poněkud lepší, ve většině uzlových bodů jsou počty srážkových dní nadhodnoceny o 11–30. Porovnáním počtu dní se slabými srážkami (úhrny do 1 mm včetně; obr. 9) se ukazuje, že největší rozdíly mezi modelem a pozorováním se objevují právě v této kategorii srážek. V zimě a na jaře se vyskytuje o 11 až 31 více dní se slabými srážkami ve většině uzlových bodů, což vztaheno k celkovému počtu dní se slabými srážkami v pozorovaných datech, kterých se v jednotlivých uzlových bodech vyskytuje obvykle mezi 25 a 40 v zimě a mezi 20 a 30 na jaře představuje nadhodnocení o 50 až 150 %. V létě a na podzim dochází v modelu k nadhodnocení dní se slabými srážkami o 3 až 20, což přepočítáno na celkové počty těchto dní za sezonu znamená nárůst o 50 až 200 %. Plošné i sezonní rozdělení absolutních rozdílů přitom zůstává téměř stejné jako pro počty všech srážkových dní na obr. 8. Počty dní se srážkovými úhrny přesahujícími 10 mm jsou ve všech sezónách většinou nadhodnoceny o 1 až 2 dny, tj. o 10 až 50 %,

v zimě místy až 200 %, ovšem vyskytují se i body, většinou s výrazněji nižší modelovou nadmořskou výškou, kde model simuluje těchto dní méně než je skutečnost (obr. 10). V létě model počet dní se srážkovými úhrny nad 10 mm spíše nadhodnocuje, ale i tady rozdíly pro celou sezonu nepřesahují 5 dní, což představuje obvykle méně než 50 %, výjimečně až 100 %.

#### 5.5 Roční chod teploty vzduchu a srážek na území ČR

Základní charakter ročního chodu teploty (obr. 11) i srážek (obr. 14) je v modelu simulován správně. Jednotlivé prvky nabývají svých maximálních a minimálních hodnot ve stejných měsících jako v pozorovaných datech. Model správně simuluje podružné srážkové maximum v listopadu a tendenci k podružnému srážkovému minimu v červenci.

Podhodnocení průměrné i maximální teploty nastává ve všech měsících bez ohledu na nadmořskou výšku uzlových bodů, nejvíc je patrné na jaře a na přelomu podzimu a zimy u průměrné teploty (obr. 11); maximální teplota je výrazně podhodnocena na jaře a v létě (obr. 12). Prostorová proměnlivost mezi uzlovými body, daná pro jednotlivé měsíce výškou krabic, které reprezentují 50 % uzlových bodů, je po většinu roku v modelu větší pro nízko položené uzlové body a menší pro ty s vyšší nadmořskou výškou. Minimální hodnoty teploty jsou modelovány nejlépe, přesto i u nich dochá-

zí k výraznému podhodnocení v listopadu a v jarních měsících, zejména v dubnu (obr. 13). Mírně nadhodnocené jsou simulované minimální teploty od června do září a v lednu. Velikost chyb je srovnatelná pro body nacházející se v obou intervalech nadmořské výšky. Prostorová proměnlivost minimálních hodnot teploty mezi jednotlivými uzlovými body je v modelu menší v nižších polohách, a naopak mírně větší v uzlových bodech s vyšší nadmořskou výškou v porovnání s gridovanou databází. Za zmínku stojí, že i přes značné odchylky teploty v jednotlivých měsících simuluje model roční amplitudu teploty (rozdíl mezi červencovou a lednovou průměrnou teplotou) úspěšně.

K nadhodnocení srážek dochází ve všech měsících bez ohledu na nadmořskou výšku (obr. 14.), nejvýrazněji se projevuje v zimě a na jaře v nížinách, ve výše položených uzlových bodech na jaře a především v létě. Prostorová proměnlivost měsíčních úhrnů srážek je obecně větší v modelu než v gridované databázi.

## 6. DISKUSE

Naším cílem bylo zhodnotit schopnost modelu ALARO-Climate simulovat současné klima, a to jak na celé výpočetní oblasti, tak na území ČR. Přestože pozorovaná data jsou reprezentována v této validaci dvěma v zásadě odlišnými databázemi, kdy E-OBS vychází z relativně řídké sítě staničních pozorování, zejména v některých oblastech Evropy, a naopak griSt je přepočítána z husté staniční sítě v ČR, výsledky validace pro ČR se v zásadě shodují s celou výpočetní oblastí. Výhodou databáze griSt je garantovaná kvalita staničních řad vstupujících do gridovací procedury a také rozložení uzlových bodů shodné s modelem.

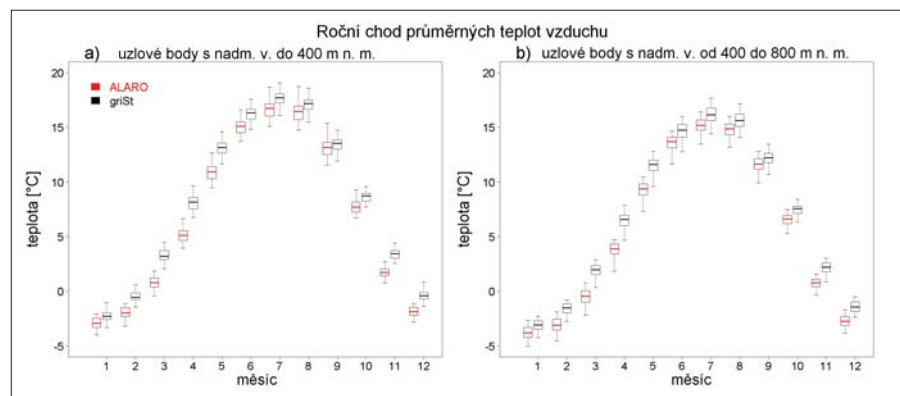
Chyby detekované v modelu spočívají obecně v podhodnocování teploty, zejména v jarní sezoně, a nadhodnocování srážek, nejvíc v zimních měsících. Oba tyto nedostatky se projeví již v modelu ALADIN-Climate/CZ (Skalák et al. 2008), který podobně jako ALARO-Climate vycházel z NWP ALADIN, ovšem používal jiná schémata. Může se tedy jednat o systematickou chybu, která vzniká integrací NWP modelu ALADIN v klimatickém módu. Nedávné ladění modelu ukázalo, že značný vliv na simulaci srážek má také velikost integrační domény, jak ukázal i Skalák et al. (2014). Pro prezentovaný běh ALARO-Climate byla zvolena relativně malá integrační oblast z důvodu zachování výpočetních nákladů i při experimentech s horizontálním krokem 6 km, což mohlo vést k nesprávné simulaci srážek.

Nadhodnocování srážek v modelu jsme podrobněji demonstrovali na počtu dní se srážkami pro území ČR. Ukázalo se, že počet všech dní se srážkami je nejvíc nadhodno-

cen v zimě a největší nadhodnocení je v počtu dní s malými úhrny srážek (1 mm a menší). Počty dní s vyššími úhrny srážek (10 mm a více) jsou modelovány mnohem lépe a jejich celkový počet je v modelu výrazně vyšší pouze v létě. S ohledem na celkový počet dní se silnými srážkami v jednotlivých sezonách však dochází k jejich největšímu nadhodnocování v zimě, kdy se vysoké denní srážkové úhrny vyskytují zřídka. Vysoké sezonní úhrny srážek jsou tedy v modelu způsobeny tím, že prší mnohem častěji, než je pozorováno, jedná se však o malé úhrny. Srážky jsou v modelu nadhodnoceny ve všech sezonách a bez ohledu na nadmořskou výšku bodů. To by mohlo naznačovat, že za chybným modelováním srážek stojí srážkové procesy, které nevykazují výraznou roční amplitudu. Jinými slovy, za nadhodnocení srážek jsou zodpovědné spíše procesy generující velkoprostorové srážky.

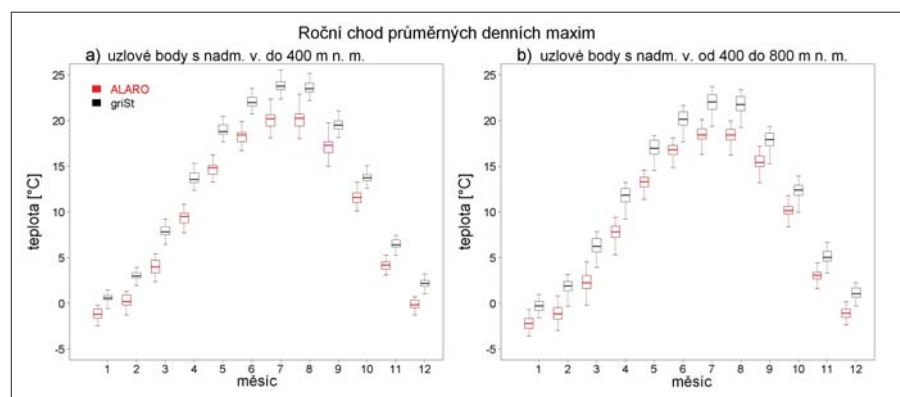
Podhodnocení teploty v modelu ALARO-Climate pozorujeme u všech teplotních charakteristik. Chyba modelování průměrné denní teploty je ovlivněna především značným podhodnocením denních maxim teploty vzduchu. S tím dále souvisí nesprávné modelování denní amplitudy teploty. Zatímco v modelu ALADIN-Climate je denní amplituda větší než pozorovaná (Skalák et al. 2008), v modelu ALARO-Climate dochází k jejímu podhodnocení.

S problémem podhodnocení teploty se potýkali již autoři modelu ALADIN-Climate/CZ. Podle Fardy et al. (2007) byla příčinou podhodnocení jarních hodnot teploty v modelu nadměrná akumulace sněhu v zimních měsících a prodlou-



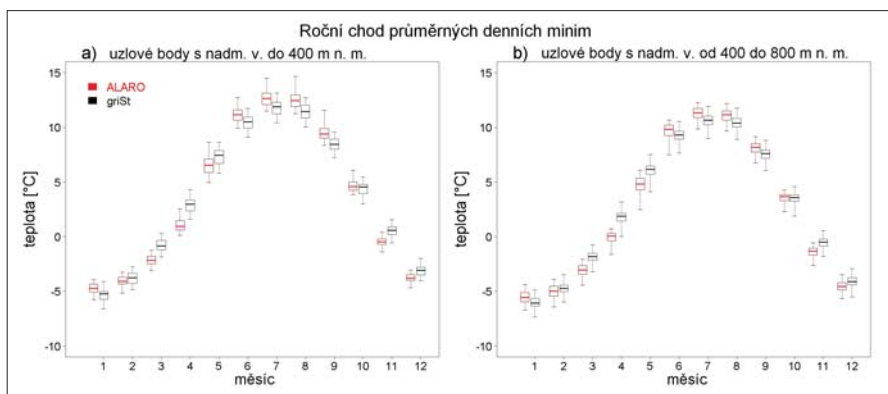
Obr. 11 Průměrné měsíční teploty v modelu ALARO-Climate (červeně) a databázi griSt (černě) pro nízko položené uzlové body (< 400 m n. m.) (a) a uzlové body s nadmořskou výškou od 400 do 800 m n. m. (b).

Fig. 11. Mean monthly temperature in the ALARO-Climate model (red) and the griSt database (black) for grid points with a low elevation (< 400 m a. s. l.) (a) and elevations between 400 and 800 m a. s. l. (b).



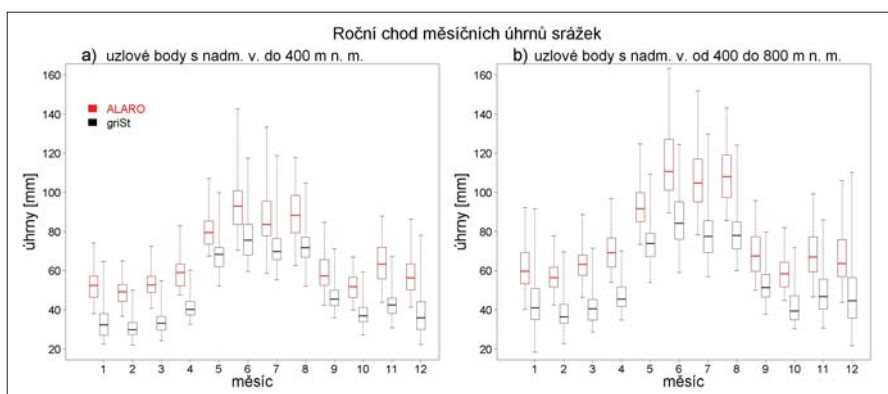
Obr. 12 Jako obr. 11, ale pro průměrné měsíční maximální teploty.

Fig. 12. As in Fig. 11, except for mean monthly maximum temperature.



Obr. 13 Jako obr. 11, ale pro průměrné měsíční minimální teploty.

Fig. 13. As in Fig. 11, except for mean monthly minimum temperature.



Obr. 14 Jako obr. 11, ale pro průměrné měsíční úhrny srážek.

Fig. 14. As in Fig. 11, except for mean monthly precipitation.

žení doby se sněhovou pokrývkou do pozdního jara, resp. její pozdější roztátí. Toto odůvodnění však nelze jednoduše použít pro chyby modelu ALARO-Climate vzhledem k výskytu záporných teplotních odchylek ve všech jarních měsících, zatímco nadhodnocení množství sněhu se projevuje v březnu a částečně v dubnu.

Současné nadhodnocování slabého deště a podhodnocování teploty během celého roku vedlo k teorii, že k nepřesnému modelování přízemní teploty by spíše než akumulace sněhu mohla přispívat nadměrná oblačnost. Pokud je víc oblačnosti, může to vést jak k menší denní maximální teplotě z důvodu menšího množství slunečního záření dopadajícího na zemský povrch, tak ke zvýšení minimální teploty vlivem zadržování radiace zemského povrchu v nočních hodinách. Porovnání modelované oblačnosti s řídicí reanalýzou ERA-40 ukázalo, že právě nadhodnocení nízké oblačnosti (viz obr. 15) by mohlo být jedním z důvodů pro podhodnocování teploty na jaře i v létě a pro letní podhodnocování denní amplitudy teploty. Naopak za podhodnocené teploty na podzim a v zimě oblačnost zodpovědná není, protože v těchto obdobích je průměrná měsíční oblačnost modelována v dobré shodě s řídicí reanalýzou.

Prostorové rozložení chyb nad Evropou se liší pro jednotlivé diskutované prvky, je odlišné v různých sezonách a pro některé prvky souvisí mimo jiné s členitostí terénu. Zatímco maximální teplota je podhodnocena ve všech sezonách téměř na celé oblasti s výjimkou Středomoří, chyby v modelování

minimální teploty jsou v jednotlivých sezonách značně rozdílné. K největšímu nadhodnocení srážek dochází po většinu roku ve střední a jihovýchodní Evropě, naopak v létě jsou v těchto regionech průměrné úhrny srážek modelovány nejlépe. V jižní Evropě existují i malé oblasti, kde model průměrné sezonní srážky podhodnocuje.

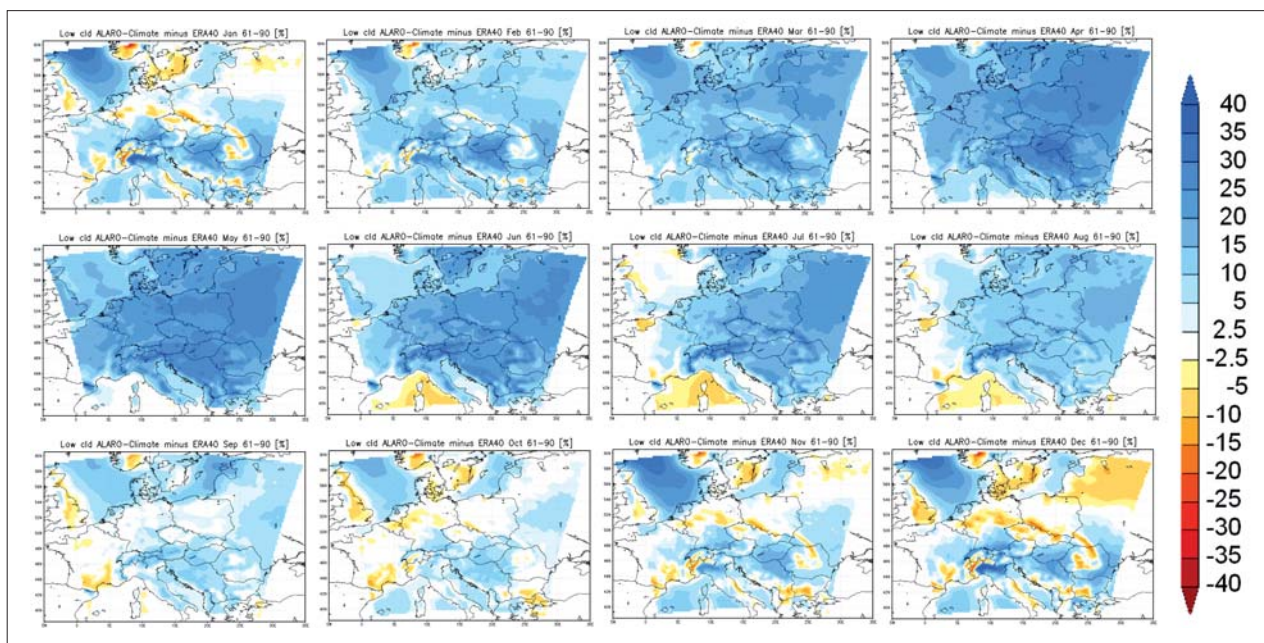
Nehomogenní rozložení chyb na území ČR je dáno mimo jiné rozdílnou nadmořskou výškou uzlových bodů v modelu a ve skutečnosti. Dochází tak ke zmenšení nebo naopak zvětšení odchylek mezi modelovanými a pozorovanými charakteristikami. Ve většině případů je nadmořská výška bodů v modelu podhodnocena. Vzhledem k tomu, že teplota s nadmořskou výškou klesá, přibližuje se modelovaná teplota v těchto případech té pozorované. Naopak tam, kde je nadmořská výška modelem nadhodnocena, tj. ve skutečnosti je uzlový bod nižší, se už tak podhodnocená modelová teplota porovnává s teplotou v uzlovém bodě položeném až o 400 výškových metrů níž, a rozdíl tedy dosahuje ve dvou případech téměř 6 °C. Opačný efekt pozorujeme u srážek, jejichž úhrny se s nadmořskou výškou zvětšují, přestože tato závislost není tak těsná jako u teploty. Nadhodnocené srážkové úhrny v níže položeném uzlovém bodě potom porovnáváme se srážkami v místě s vyšší reálnou nadmořskou výškou, což může vést k dojmu, že srážky jsou v tomto bodě modelovány správně.

## 7. ZÁVĚR

V posledních desetiletích jsou RCM stále častěji využívány pro simulaci současných klimatických podmínek v prostorovém rozlišení, kterého nelze dosáhnout použitím GCM. V tomto článku seznamujeme čtenáře s novým klimatickým modelem ALARO-Climate, který vychází z NWP modelu ALADIN. Nové parametrizace a fyzikální popis turbulence a konvekce implementované do prezentovaného RCM byly v ČHMÚ vyvíjeny za účelem zachovat stabilitu a výpočetní nenáročnost modelu i v případě snížení vzdálenosti uzlových bodů na méně než 10 km. Zde popisovaná verze modelu ALARO-Climate s rozlišením 25 km řízená reanalýzou ERA-40 byla validována proti pozorovaným datům z evropských stanic přepočítaným do pravidelné sítě (E-OBS) a porovnána s pozorovanými řadami na husté síti stanic v ČR přepočítanými do sítě shodné s modelovou. Výsledky ukázaly prakticky shodné odchylky modelu od pozorovaných dat nejen ve znaménku, ale i ve velikosti, a to bez ohledu na použitou databázi.

Model ALARO-Climate je schopný zachytit obecné chování přízemní teploty i pole srážek v regionu střední Evropy a pracuje v zásadě spolehlivě i v regionu s velmi členitou orografií. Sezonní pole cirkulace v přízemní vrstvě model opro-





Obr. 15 Rozdíl v průměrné měsíční nízké oblačnosti v modelu ALARO-Climate a pozorovaných datech (reprezentovaných reanalýzou ERA-40) vyjádřený v % pozorované oblačnosti v jednotlivých měsících počínaje lednem (vlevo nahoře).

Fig. 15. Differences in low clouds between ALARO-Climate and ERA-40 in % of observed amounts. Months are arranged in rows starting with January from the upper left corner

ti řídicím analýzám téměř nedeformuje a jen velmi málo se od nich odchyluje. Za hlavní nedostatky zde prezentované simulace lze označit:

- podhodnocení maximálních denních hodnot teploty na celé validační oblasti v průběhu celého roku, což vede k podhodnocení denní amplitudy teploty,
- nadhodnocení minimální teploty téměř v celé Evropě v létě,
- výrazné nadhodnocení srážek na celé validační oblasti, zejména v zimě.

Podrobná validace relativně malého území ČR ukázala na některé další nedostatky modelu, a to zejména podhodnocení hodnot minimální teploty na jaře. Ukázala také, že k nadhodnocení srážek dochází v důsledku častějšího vypáďávání slabých srážek v modelu v porovnání se skutečností, počty dní se silnými srážkami jsou nadhodnoceny relativně méně.

K chybné simulaci denních extrémních hodnot teploty v ČR pravděpodobně přispívá výrazné nadhodnocení nízké oblačnosti v některých sezonách, větší problém však spatřujeme v nevhodném nastavení orografie, kdy pro relativně malé území ČR (124 uzlových bodů) pouze 25 % má správnou nadmořskou výšku (s tolerancí  $\pm 20$  m). Nadhodnocení srážek může být způsobeno volbou příliš malé integrační oblasti, což bylo zmíněno v úvodní kapitole.

Kvantifikace rozdílů mezi modelovými a pozorovanými daty bude využita pro zdokonalení výše zmíněných parametrizací.

#### Poděkování:

Vývoj modelu ALARO-Climate byl podpořen Grantovou agenturou AV ČR, projekt P209/11/2405. V práci byla použita databáze E-OBS vytvořená v rámci projektu EU-FP6 ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>), pro kterou byla poskytnuta data z evropských stanic dostupná v ECA&D (<http://www.ecad.eu>).

#### Literatura:

- BROŽKOVÁ, R., 2013. Parametrizace srážkových procesů v modelu ALADIN. *Meteorologické zprávy*, roč. **66**, s. 33–41. ISSN 0026-1173.
- CATRY, B., GELEYN, J.-F., TUDOR, M., BÉNARD, P., TROJÁKOVÁ, A., 2007. Flux-Conservative Thermodynamic Equations in a Massweighted Framework. *Tellus*, **59A**, s. 71–79, DOI:10.1111/J.1600-0870.2006.00212.X.
- CHAN, S. C., KENDON, E. J., FOWLER, H. J., BLENKINSOP, S., FERRO, C. A. T., STEPHENSON, D. B., 2012. Does increasing resolution improve the simulation of United Kingdom daily precipitation in a regional climate model? *Climate Dynamics*, **41**, s. 1475–1495.
- DE TROCH, R., HAMDÍ, R., VAN DE VYVER, H., GELEYN, J.-F., TERMONIA, P., 2013. Multiscale Performance of the ALARO-0 Model for Simulating Extreme Summer Precipitation Climatology in Belgium. *Journal of Climate*, **26**, s. 8895–8915. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00844.1>
- FARDA, A., DÉQUÉ, M., SOMOT, S., HORÁNYI, A., SPIRIDONOV, V., TÓTH, H., 2010. Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Stud. Geophys. Geod.*, **54**, s. 313–332.
- FESER, F., ROCKEL, B., VON STORCH, H., WINTERFELDT, J., ZAHN, M., 2011. Regional climate models add value to global model data: A review and selected examples. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **92**, s. 1181–1192.
- FLATO, G., MAROTZKE, J., ABIODUN, B., BRACONNOT, P., CHOU, S. C. et al., 2013. Evaluation of Climate Models. In: STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K. et al., eds., *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: Cambridge University Press.
- FREI, C., CHRISTENSEN, J. H., DEQUE, M., JACOB, D., JONES, R. G., VIDALE, P. L., 2003. Daily precipitation

- statistics in regional climate models: Evaluation and inter-comparison for the European Alps. *Journal of Geophysical Research*, **108** (D3), 4124.
- 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*, **137**, s. 3960–3977.
- HALENKA, T., 2008. Regional climate modeling activities in CECILIA project: Introduction. *Időjárás* **112**: III–IX .
- HAYLOCK, M. R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A. M. G., KLOK, E. J., JONES, P. D., NEW, M., 2008. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, **113**, D20119, doi: 10.1029/2008JD10201.
- HEWITT, C. D., GRIGGS, D. J., 2004. Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. *Eos*, **85**, 566.
- HUNTINGFORD, C., JONES, R. G., PRUDHOMME, C., LAMB, R., GASH, J. H. C., JONES, D. A., 2003. Regional climate-model predictions of extreme rainfall for a changing climate. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **129**, s. 1607–1621.
- HUTH, R., MLÁDEK, R., METELKA, L., SEDLÁK, P., HUTHOVÁ, Z. et al., 2003. On the integrability of limited-area numerical weather prediction model ALADIN over extended time periods. *Studia Geophys. Geod.*, **47**, s. 863–873.
- HUTH, R., KYSELÝ, J., POKORNÁ, L., FARDA, A., MLÁDEK, R., HUTHOVÁ, Z., KLIEGROVÁ, S., METELKA, L., 2004. Měsíční integrace modelu ALADIN v klimatickém módu: Vliv některých parametrů. *Meteorologické Zprávy*, roč. **57**, s. 41–46. ISSN 0026-1173.
- JAEGER, E. B., ANDERS, I., LÜTHI, D., ROCKEL, B., SCHÄR, C., SENEVIRATNE, S., 2008. Analysis of ERA40-driven CLM simulations for Europe. *Meteorologické Zprávy*, roč. **17**, s. 349–367. ISSN 0026-1173.
- KENDON, E. J., ROBERTS, N., SENIOR, C. A., ROBERTS, M. J., 2012. Realism of Rainfall in a Very High-Resolution Regional Climate Model. *Journal of Climate*, **25**, s. 5791–5806.
- LARSEN, M. A. D., THEJLL, P., CHRISTENSEN, J. H., REFGAARD, J. H., JENSEN, K. H., 2013. On the role of domain size and resolution in the simulations with the HIRHAM region climate model. *Climate Dynamics*, **40**, s. 2903–2918.
- LUCAS-PICHER, P., CAZA, D., DE ELIA, R., LAPRISE, R., 2008. Investigation of regional climate models' internal variability with ten-member ensemble of ten years over large domain. *Climate Dynamics*, **31**, s. 927–940.
- LUCAS-PICHER, P., WULFF-NIELSEN, M., CHRISTENSEN, J., ADALGEIRSDOTTIR, G., MOTTRAM, R., SIMONSEN, S., 2012. Very high resolution regional climate model simulations over Greenland: Identifying added value. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, **117**, D02108.
- RAUSCHER, S. A., COPPOLA, E., PIANI, C., GIORGI, F., 2010. Resolution effects on regional climate model simulations of seasonal precipitation over Europe. *Climate Dynamics*, **35**, s. 685–711.
- RITTER, B., GELEYN, J.-F., 1992. A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction models with potential applications in climate simulations. *Monthly Weather Review*, **120**, s. 303–325.
- ROJAS, M., 2006. Multiply nested regional climate simulation for southern South America: Sensitivity to model resolution. *Monthly Weather Review*, **134**, s. 2208–2223.
- RUMMUKAINEN, M., 2010. State-of-the-art with regional climate models. *Climatic Change*, **1**, s. 82–96.
- SKALÁK, P., DÉQUÉ, M., BELDA, M., FARDA, A., HALENKA, T. et al., 2014. CECILIA regional climate simulations for the present climate: validation and inter-comparison. *Climate Research*, **60**, s. 1–12.
- SKALÁK, P., ŠTĚPÁNEK, P., FARDA, A., 2008. Validation of ALADIN-Climate/CZ for present climate (19611990) over the Czech Republic. *Időjárás*, **112**, s. 191–201.
- SUKLITSCH, M., GOBIET, A., TRUHETZ, H., AWAN, N. K., GÖTTEL, H., JACOB, D., 2011. Error characteristics of high resolution regional climate models over the Alpine area. *Climate Dynamics*, **37**, s. 377–390.
- ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., SKALÁK, P., 2009. Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. *Advances in Science and Research*, **3**, s. 23–26.
- ŠTĚPÁNEK, P., 2010. ProClimDB – software for processing climatological datasets. CHMI, regional office Brno. <http://www.climahom.eu/ProcData.html>.
- ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., HUTH, R., 2011a. Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of Central European daily time series. *Időjárás*, **115**, 87–98.
- ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., TOLASZ, R., 2011b. Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii. Praha: ČHMÚ, 118 s.
- TORMA, C., COPPOLA, E., GIORGI, F., BARTHOLY, J., PONGRÁČZ, R., 2011. Validation of a high-resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian Basin. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. **12**, s. 84–100.
- UPPALA, S. M., KÄLLBERG, P. W., SIMMONS, A. J., ANDRAE, U., DA COSTA BECHTOLD, V. et al., 2005. The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, s. 2961–3012. doi: <http://dx.doi.org/10.1256/qj.04.176>.
- VÁŇA, F., BÉNARD, P., GELEYN, J.-F., SIMON, A., SEITY, Y., 2008. Semi-Lagrangian advection scheme with controlled damping: An alternative to nonlinear horizontal diffusion in a numerical weather prediction model. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. **134**, s. 523–537. doi:10.1002/qj.220.
- VAUTARD, R., GOBIET, A., JACOB, D., BELDA, M., COLETTE, A. et al., 2013. The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project. *Climate Dynamics*, Vol. **41**, s. 2555–2575.
- WALTHER, A., JEONG, J.-H., NIKULIN, G., JONES, C., CHEN, D., 2013. Evaluation of the warm season diurnal cycle of precipitation over Sweden simulated by the Rossby Centre regional climate model RCA3. *Atmospheric Research*, Vol. **119**, s. 131–139.

Lektor (Reviewer) doc. RNDr. Tomáš Halenka, CSc.



# TRYSKOVÉ PROUDĚNÍ A LETECKÁ DOPRAVA NAD SEVERNÍM ATLANTIKEM

Michal Švec, Letecký ústav Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, Technická 2, 616 69 Brno

**Jet stream and air transport over the North Atlantic.** In air transport, there is a constant effort to increase flight performance and thus decrease flight operation costs. In transatlantic flights operations the jet stream is used for this purpose. The current method of air traffic organization over the North Atlantic was designed with respect to it. The aim of this paper is an assessment of the time effectiveness of transatlantic flights which use the jet stream. A sample of 47 westbound and eastbound transatlantic flights of three airlines was chosen for this assessment. Data of little accuracy, yet freely available, were used for their evaluation. The duration of the flight considered along the real route was compared with the duration of the corresponding flight along the slightly modified great circle (the shortest possible) route with jet stream data from corresponding time and flight levels incorporated in both of these flights. The durations of cruise flights and the durations of only the oceanic parts of flights were compared. It was proven that the oceanic part of transatlantic flights saves time, but its use causes route lengthening which reduces or even depletes the time saved while higher time savings are gained during westbound flights.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** proudění tryskové – track – NAT – OTS – doprava letecká – severní Atlantik

**KEYWORDS:** jet stream – track – NAT – OTS – air transport – North Atlantic

## 1. ÚVOD

Od samého počátku je letectví neodmyslitelně spojeno s počasím. Z pohledu provozovatele a letových posádek ovlivňuje počasí všechny fáze letu. Od přípravy letu nebo linky k provozu, tzv. traťové přípravy, a předletové přípravy až po rozhodnutí pilota za letu. Cílem všech těchto příprav a rozhodnutí je zajistit vždy bezpečný, hospodárný (ziskový) a plynulý letecký provoz, ze strany pilotů především bezpečný návrat na zem. Z těchto důvodů existuje snaha využívat počasí pro zlepšení letových výkonů, a tím minimalizovat především finanční náklady.

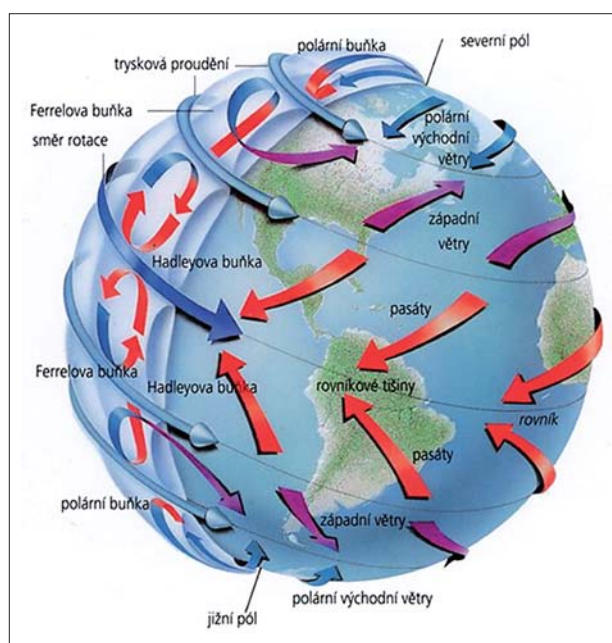
Při správném využití počasí za letu dochází ke zvýšení traťové rychlosti a z toho plynoucímu zkrácení doby letu, redukcí spotřeby paliva a emisí škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. Hlavním meteorologickým jevem, kterého se pro tyto účely využívá při transoceánských letech, je tryskové proudění.

Poprvé se toto proudění v civilní letecké dopravě záměrně využilo 18. 11. 1952 při letu Pan American Airways z Tokia do Honolulu, kdy kapitán Logan D. Scott dokázal zkrátit let dokonce o 7 hodin.

Cílem této práce je popsat tryskové proudění jako jev ovlivňující leteckou dopravu a pokusit se o zhodnocení časové a ekonomické efektivnosti letů v souvislosti s tryskovým prouděním v oblasti severního Atlantiku. Příspěvek je shrnutím výsledků autorovy diplomové práce (Švec 2014) vypracované na Leteckém ústavu Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně pod vedením RNDr. Karla Kršky, CSc.

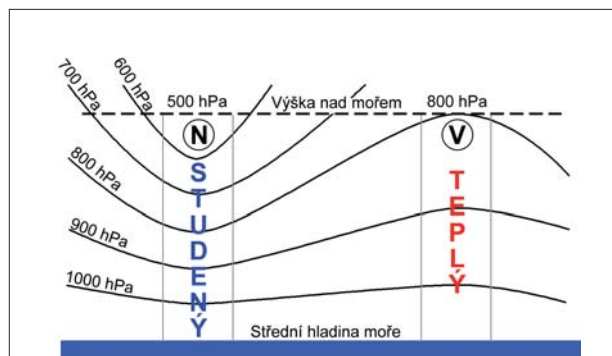
## 2. TRYSKOVÉ PROUDĚNÍ, JEHO VÝSKYT A MĚŘENÍ

Tryskové proudění, angl. jet stream, označované mezinárodní leteckou zkratkou JTST (Ministerstvo dopravy ČR 2011), je definováno jako silné proudění vzduchu ve tvaru zploštělé trubice s kvazihorizontální osou maximální rychlosti proudění vzduchu, zpravidla 1 až 2 km pod tropopauzou, vymezené izotachou  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , horizontálním stříhem větru alespoň  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  na 100 km a vertikálním stříhem větru 5 až  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  na 1 km (Sobíšek et al. 1993; WMO 1966). Obecně se však od této přísné definice upouští a za tryskové proudění je považováno jakékoliv ustálené proudění vzduchu v horní troposféře nebo spodní stratosféře o rychlosti přesahující  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Obr. 1 Planetární cirkulace atmosféry. Podle Kráčmara, Kršky, Soboty, Svatoše 2006.

Fig. 1. Global atmospheric circulation. By Kráčmar, Krška, Soboty, Svatoš 2006.



Obr. 2 Průběh tlaku ve studeném a teplém vzduchu. Podle Oxford Aviation Academy 2001.

Fig. 2. Pressure course in cold and warm air masses. By Oxford Aviation Academy 2001.



Pro vznik tryskového proudění, které je neoddělitelnou složkou planetární cirkulace atmosféry, jsou důležité především oblasti styku různých vzduchových hmot, které lze nalézt v místech kontaktu Hadleyovy a Ferrelovy buňky a v místech kontaktu Ferrelovy a polární buňky (obr. 1), kde se utvářejí výškové atmosférické fronty. V jejich blízkosti vznikají výškové tlakové útvary teplá anticyklona a studená cyklona, a tím i sklon tlakových hladin, jehož velikost závisí na vzdálenosti a výraznosti tlakových útvarů (obr. 2). V případě, že teplá anticyklona leží jižně od studené cyklony, dochází k ustálenému západnímu proudění. Jeho rychlost je nepřímo úměrná hustotě vzduchu, takže ve výšce kolem 10 km nad mořem je v průměru asi pětkrát vyšší než při zemi. Pokud rychlost proudění vzduchu překročí  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , lze jej označit jako tryskové proudění.

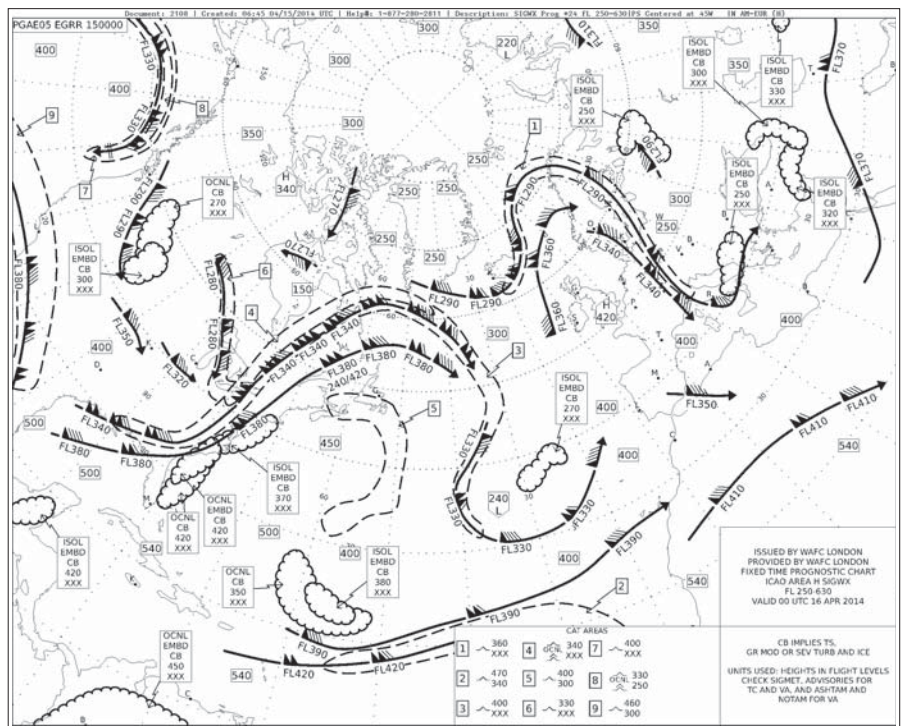
Průběh tryskového proudění je značně komplikovaný, protože závisí na mnoha jevech v atmosféře, třeba je formováno Rossbyho vlnami. Tryskové proudění se může dělit do větví, nebo naopak spojovat, jak je zřejmé např. na mapách význačného počasí pro lety ve vysokých hladinách nad FL250, tj. asi 7,6 km nad mořem (obr. 3). Také je možné v omezené míře pozorovat roční pravidelná kolísání některých jeho charakteristik. Rozlišujeme tryskové proudění rovníkové, subtropické a mírných šířek, přičemž v letectví se využívá jen posledních dvou uvedených, jež se vyskytují ve výškách využívaných proudovými dopravními letouny.

Pro letectví je důležité znát polohu osy tryskového proudění, jeho další charakteristiky a předpověď, kterou je však vzhledem k jeho výšce poměrně složité určovat. K tomu jsou využívány tři základní metody. První metodou je radiosondační měření, při kterém se údaje o směru a rychlosti větru získávají sledováním polohy radiosondy při jejím výstupu. Existují také radiosondy transoceánské, které mohou být nesené otevřeným balonem, jenž se udrží v určité tlakové hladině až 15 dní, nebo uzavřeným balónem, kdy se délka takového letu pohybuje okolo 100 dní (Sobíšek et al. 1993). Jejich poloha a rychlost je neustále měřena s použitím radionavigačních systémů dálkové navigace nebo v současnosti globálním navigačním družicovým systémem.

Další metodou jsou měření letadlová. Současné letouny jsou schopny autonomně měřit směr i rychlost větru, kterým jsou unášeny. V případě přenosu těchto údajů do meteorologických center se jedná o velmi cenný zdroj informací.

Poslední metodou je kosmické měření za využití meteorologických družic systému Světové služby počasí (World Weather Watch) provozovaného Světovou meteorologickou organizací (WMO). Je založeno na optickém snímání oblačnosti a vyhodnocování jejího pohybu pomocí korelace na sebe časově navazujících snímků, má však mnoho omezení (WMO 2010).

Pro sestavování zpráv a předpovědí tryskového proudění je využíváno komplexních meteorologických modelů zahr-



Obr. 3 Mapa význačného počasí pro lety ve vysokých hladinách. Vydaná WAFC Londýn 2014.

Fig. 3. Significant weather at high levels chart. Issued by WAFC London 2014.

nujících mnohé další prvky, jež mohou jeho charakteristiku ovlivnit a zpřesnit. Jedním z takových modelů je TIGGE (THORPEX Interactive Grand Global Ensemble), jenž je klíčovou součástí programu THORPEX (The Observing System Research and Predictability Experiment) realizovaného WMO za podpory ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) a dalších organizací.

### 3. DOPRAVA NAD SEVERNÍM ATLANTIKEM

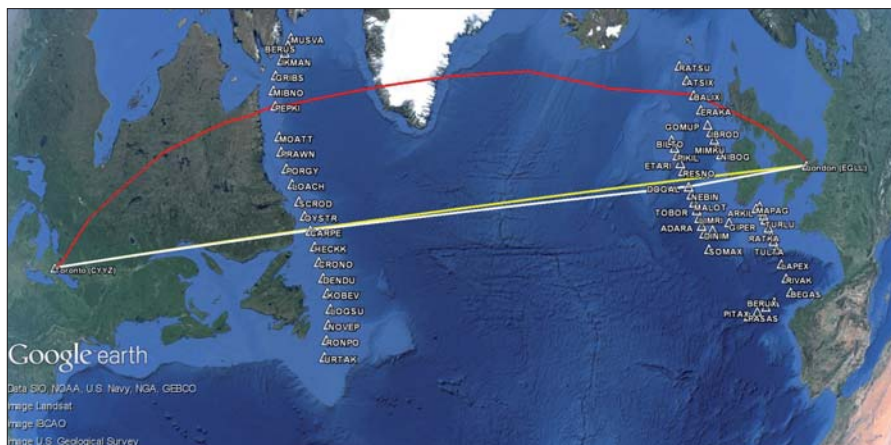
Letecká doprava se od svého vzniku vyznačuje, až na dočasnou krátkou období mírného úpadku, poměrně stálým a výrazným růstem. Postupem času proto bylo nutné řešit kapacitu vzdušného prostoru, zavádění různých pravidel, minimálních rozstupů mezi letícími letadly nebo rozmísťování pokročilejší letecké zabezpečovací techniky, která umožňuje přesnější letový přehled i přesnější řízení letového provozu.

Také oceánský vzdušný prostor bylo nutné zorganizovat do podoby, jež by umožnila poskytnout nejlepší možný kompromis mezi bezpečností provozu, která by měla být vždy na prvním místě, a velkou poptávkou leteckých dopravců a cestujících. Podle ICAO (2013) využívá v současnosti oceánský vzdušný prostor nad severním Atlantikem (region NAT na obr. 4) přes 460 000 letů ročně, což je průměrně asi 1 260 letů denně. Ve špičkách dosahuje hustota provozu až 100 letů za hodinu. Ve vzdušném prostoru nad širým oceánem, kde neexistuje téměř žádné radarové pokrytí, je to vysoké číslo. Systém řízení je procedurální, přičemž v regionu NAT se hojně využívá systému ADS-C (Automatic dependent surveillance – contract) a nově se také zkouší použití systému ADS-B. Systém ADS-C umožňuje posílat pomocí různých prostředků radiokomunikace informaci o poloze letounu střediskům řízení oceánského letového provozu, a tím výrazně zpřesňovat systémový odhad polohy letadla vytvořený automatickým systémem podpory řízení. Od roku 2013 musí být tímto systémem vybavena



Obr. 4 Vzdušné prostory regionu NAT. Podle ICAO 2013.

Fig. 4. Airspaces in the NAT region. By ICAO 2013.



Obr. 5 Ortodromická trať z Londýna do Toronta (žlutě), upravená ortodromická trať procházející nejbližším vstupním a výstupním bodem oceánského vzdušného prostoru (bíle) a skutečná trať letu BAW93 dne 3. 3. 2014 (červeně). Podle Švec 2014 (podklad: Google Earth).

Fig. 5. Great circle track from London to Toronto (yellow), modified great circle track passing over oceanic entry and exit points (white) and the real flight track of BAW93 on 3 March 2014 (red). By Švec 2014 (background: Google Earth).

všechna letadla využívající systém organizovaných tratí (OTS) mezi FL360 a FL390 včetně.

Při procedurálním řízení je využíváno metody Machova čísla, systému letových hladin (FL) a OTS, který je stěžejním bodem systému řízení oceánského letového provozu v regionu NAT. Systém OTS, jenž vždy sestavuje jedno ze dvou středisek řízení oceánského letového provozu, kterými jsou středisko Shanwick ve Skotsku a středisko Gander na ostrově Newfoundland v Kanadě, plní dvě základní funkce. První základní funkcí je rozdělení provozu na západní a východní proud. Západní proud (letouny směřují na západ) překračuje poledník 30 W od 11:30 UTC do 19:00 UTC a proud směřující na východ překračuje též poledník od 01:00 UTC do 08:00 UTC. Tyto termíny byly stanoveny jako výsledek zájmu pasażérů, rozdílů mezi časovými pásmy destinací a letištních protihlukových opatření. Mezi jednotlivými proudy jsou tzv. periody změny OTS, kdy vždy jeden proud utichá, zatímco se systémem připravuje na proud opačný.

Druhou základní funkcí OTS je stanovení definovaných tratí průletu oceánským vzdušným prostorem. Pro dosažení optimálních tratí se posuzuje zájem dopravců pomocí jejich letových plánů, hlavně letišť vzletů a přistání, podle kterých je stanoven počet tratí, jejich směřování a poloha. Pro konstrukci tratí je nejdůležitějším parametrem trať nejkratší doby letu (MTT). Důvodem zavedení tohoto parametru je skutečnost, že ortodromická trať (nejkratší povrchová spojnice dvou bodů na Zemi) není téměř nikdy nejvýhodnější nebo aplikovatelná. Letouny se musejí vyhýbat rezervovaným prostorům s vojenským provozem nebo např. místům s výskytem vulkanického popela. Dále konstrukci tratí ovlivňují kontinentální traťová schémata a příp. i řízení toku a kapacity letového provozu (ATFM). Nejdůležitějším činitelem je však tryskové proudění.

Každé proudění vzduchu ovlivňuje pohyb letounu vůči zemi. Jestliže letoun vletí do proudu vzduchu vanoucího ve směru letu, rychlost letounu vůči zemi je rovna součtu vzdušné rychlosti letounu a rychlosti proudění. Naopak pokud letoun vletí do opačného proudění, bude vzhledem k zemi o jeho rychlost zpomalen. V případě tryskového proudění je urychlení nebo zpomalení letounu vůči zemi poměrně velké, a při letech na velké vzdálenosti je významné z hlediska trvání letu, celkové spotřeby paliva apod.

Pro výpočet MTT je nutné znát množství informací omezujících provoz v letových prostorech a také předpověď polohy a intenzity tryskového proudění, které má převážně západní směr (proudí od západu na východ). Proto je možné předpokládat, že tratě směřující na západ (z Evropy do Ameriky) budou vedeny vně tryskového proudění, které by letouny zpomalilo, zatímco tratě směřující na východ budou vedeny tak, aby bylo dosaženo největšího možného urychlení.

Tratě OTS (tzv. tracky) jsou tedy sestavovány tak, aby se co nejméně lišily od MTT, čili ideálních tratí, a současně odpovídaly velké poptávce po využití vzdušného prostoru. Tratě se navrhuje každý den a pro každý proud znovu a jejich hlavní svazek sestává většinou ze čtyř až šesti paralelních tratí.

Průlet vzdušným prostorem regionu NAT je možný i po vlastních tratích, které OTS nevyužívají. I pro tyto lety musí být podán a následně schválen letový plán a musí obdržet povolení ke vstupu do oceánského vzdušného prostoru. Přednost však mají lety využívající OTS.

## 4. ČASOVÁ EFEKTIVNOST TRANS-OCEÁNSKÝCH LETŮ V REGIONU NAT

### 4.1 Metodika hodnocení

K posouzení efektivity využití tryskového proudění z hlediska trvání transoceánských letů by bylo třeba získat kvalitní a přesná letová data. K tomuto účelu se však z provozních i konkurenčních důvodů tyto údaje nepodařilo získat ani od leteckých provozovatelů, ani od poskytovatelů služeb řízení letového provozu. Konkrétně byly kontaktovány letecké společnosti Air France-KLM, British Airways, Iberia, Lufhansa Group (Lufthansa, Swiss, Austrian airlines), SAS, LOT, TAP Portugal, Alitalia, Finnair, Virgin Atlantic, Delta Airlines a American Airlines, společnosti NATS a NAV CANADA a organizace Eurocontrol.

Přesná data by pocházela z letových záznamů jednotlivých letů, ze kterých by byly použity údaje o poloze letounu, výšce letu a traťové rychlosti (GS), jež by byly zaznamenány s dostatečnou vzorkovací frekvencí. S jejich využitím by bylo možné pracovat se skutečnými časy letů. Původním záměrem bylo odečíst od traťové rychlosti vliv tryskového proudění, čímž by se získala hodnota pravé vzdušné rychlosti (TAS) skutečného letu. Ta by se následně zanesla do simulované-



ho letu po nejkratší možné trati a k ní by se vliv tryskového proudění přičetl. Nakonec by bylo možné porovnat trvání skutečného letu se simulovaným letem po nejkratší možné trati a zjistit, zda přinesla úprava tratě s ohledem na tryskové proudění oproti simulovanému letu časové úspory.

Z výše uvedeného důvodu však byla použita data společnosti FlightAware poskytující sledování letů pomocí automatického závislého přehledového systému – vysílání (ADS-B). Tento zdroj je však problémový, neboť je omezen dosahem signálu systému ADS-B, a neposkytuje tak žádná data nad oceánem. Navíc bylo zjištěno, že údaje o rychlosti a časech měření jsou značně pochybné až nereálné. Proto bylo nutné provést opravu polohových dat a údaje pravé vzdušné rychlosti nahradit teoretickými tabulkovými hodnotami, které byly převzaty z databáze BADA (Base of Aircraft Data) využívané pro účely ATFM pro konkrétní letoun a letovou hladinu.

Protože původní záměr nebylo možno realizovat, přistoupilo se k úpravě metodiky a teoretická hodnota pravé vzdušné rychlosti byla dosazena jak do letu po skutečné trati, tak do simulovaného letu po nejkratší možné trati. V obou případech k ní byl připočten vliv tryskového proudění, čímž se získala hodnota traťové rychlosti. Nakonec se spočetly časy trvání těchto letů a ty byly porovnány.

Zpracováno bylo celkem 47 transoceánských letů tří linek (vždy tam i zpět). Metodika hodnocení sestávala ze dvou částí, hodnocen byl celý hladinový let a pouze jeho oceánská část. Stoupání letounu z letiště vzletu do cestovní hladiny a klesání z této hladiny k letišti přistání, které poměrně často zahrnuje také vyčkávací procedury, zde není započítáno. Hladinový let zahrnuje kromě oceánské části letu také jeho kontinentální část, která z důvodu nalétnutí tracku a následného návratu z tracku k letišti přistání může značně prodloužit celkovou délku tratě (obr. 5).

Jak je vidět na obr. 5, hranice oceánského vzdušného prostoru regionu NAT jsou definovány soustavou leteckých bodů, tzv. fixů, které musí letoun nalétnout jak při svém vstupu do prostoru, tak i výstupu z něj. Obecně lze říci, že počátky i konce jednotlivých tracků jsou definovány těmito body jakožto vstupními a výstupními body oceánského vzdušného prostoru. Obecná ortodromická trať však těmito body neprochází. Proto byl ke každé ortodromické trati nalezen nejbližší vstupní i výstupní bod a následně se tato trať upravila tak, aby těmito body procházela, přičemž všechny její části jsou opět ortodromami.

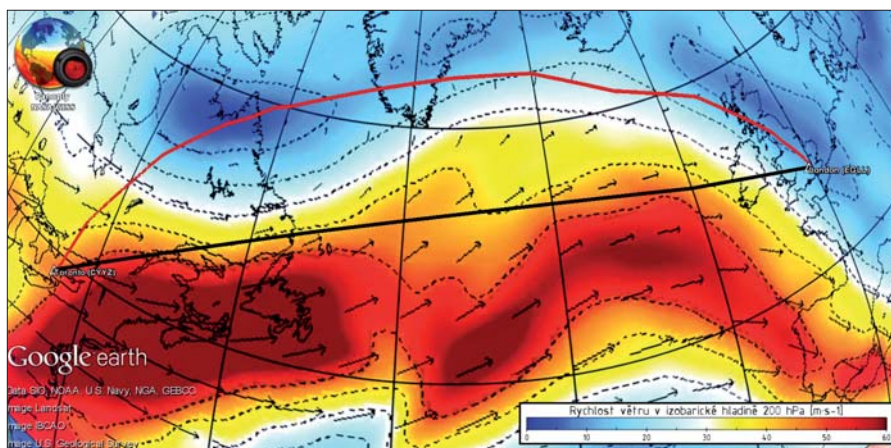
Samotné vyhodnocení efektivity spočívalo v porovnání trvání skutečného letu s trváním uvažovaného letu po upravené ortodrom-

mické trati. Z obr. 6, který navíc obsahuje informace o výškovém větru z odpovídajících izobarických hladin, je zřejmé, jaký vliv má tryskové proudění na skutečnou a upravenou ortodromickou trať.

Upravená ortodromická trať prochází poměrně silným západním prouděním, které by let značně zpomalilo. Naopak trať skutečného letu se tomuto proudění s rezervou vyhýbá, čímž je dosaženo vyšší traťové rychlosti. Rezerva viditelná na obrázku však může být způsobena tím, že data o výškovém větru odpovídají jedinému termínu pozorování a skutečná povětrnostní situace se s časem v průběhu letu mění. Zásadní otázkou však je, zda tak velké odklonění od nejkratší tratě za účelem nejlepšího využití předpovědi tryskového proudění, v tomto případě jeho eliminaci, může vést k časovým úsporám.

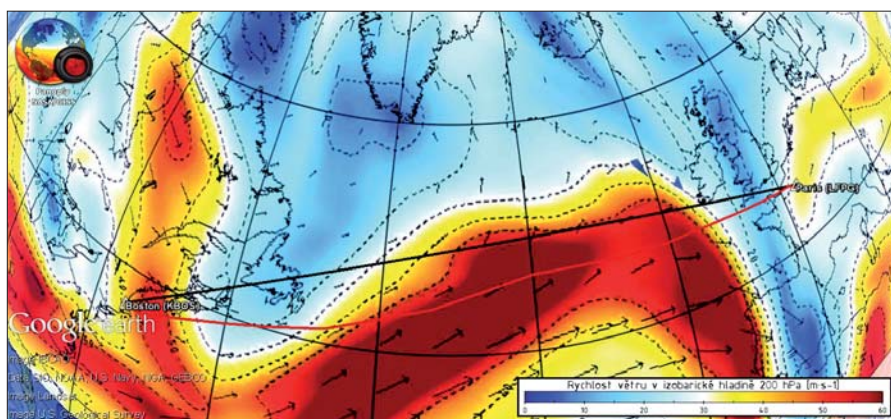
Při hodnocení se zjistilo, že lety směřující na západ se od upravených ortodromických tratí vzdalují mnohem více, než lety směřující na východ, což je dáno především obvyklou polohou tryskového proudění v regionu NAT, která je blízká upravené ortodromické trati. Příklad letu směřujícího na východ je znázorněn na obr. 7.

Vidíme, že upravená ortodromická trať již částečně prochází tryskovým prouděním, a let je tak urychlen i využitím této tratě. Jelikož však snahou je využít tryskového proudění



Obr. 6 Skutečná trať letu (červeně) a upravená ortodromická trať letu BAW93 dne 3. 3. 2014 (černě) s mapou větru a legendou. Podle Švece 2014 (poklad: Google Earth, NASA GISS Panoply).

Fig. 6. Real flight track (red) and modified great circle track of BAW93 on 3 March 2014 (black) with wind chart and its legend. By Švec 2014 (background: Google Earth, NASA GISS Panoply).



Obr. 7 Skutečná trať letu (červeně) a upravená ortodromická trať letu AFR338 dne 17. 2. 2014 (černě) s mapou větru a legendou. Podle Švece 2014 (poklad: Google Earth, NASA GISS Panoply).

Fig. 7. Real flight track (red) and modified great circle track of AFR338 on 17 February 2014 (black) with wind chart and its legend. By Švec 2014 (background: Google Earth, NASA GISS Panoply).



co nejvíce, skutečný let byl naveden do silnějšího proudění, které jeho trať navíc ovlivňovalo po větší část letu. I v tomto případě úprava tratě znamená její prodloužení, a proto shora uvedená zásadní otázka zůstává stejná. Je však zřejmé, že případné časové úspory nebo ztráty vyplývající z úpravy tratí letů na východ budou z důvodu menší vzdálenosti porovnávaných tratí méně výrazné, než u letů na západ.

Simulace letu po upravené ortodromické trati musí co nejlépe odpovídat provedenímu letu. Bylo uvažováno, že oba lety probíhaly ve stejných letových hladinách. Bylo však třeba simulovaný let zbavit teoretického stoupání a klesání a uvažovat pouze hladinový let, který je předmětem této metody hodnocení. Ze získaných dat skutečného letu se vypočetla vzdálenost, kterou letoun potřeboval pro nastoupení z letiště vzletu do letové hladiny a podobně i pro jeho sestup z letové hladiny k letišti přistání. Upravená ortodromická trať byla následně na jejím počátku a konci o tyto vzdálenosti zkrácena.

Určitými úpravami prošla i skutečná trať letu, neboť z oblasti nad oceánem nebyla k dispozici žádná spolehlivá letová data. Proto byla uměle zkonstruována trať tracku procházející jednotlivými definovanými body, která je mezi všemi těmito body opět ortodromická. Bylo však nutné zjistit, jaký track konkrétní let využil.

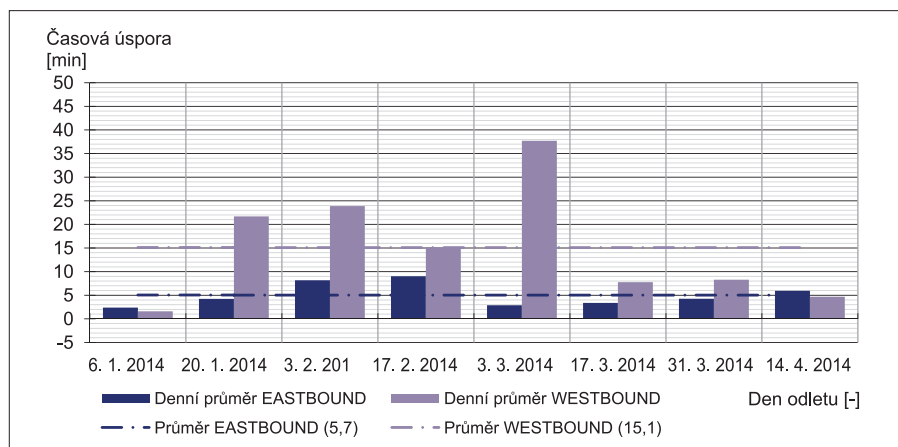
Z použitých letových dat se proto vždy našel nalétnutý vstupní a výstupní bod oceánského vzdušného prostoru a v archivu tracků průběh použitého tracku. Nespolehlivá oceánská část letových dat byla poté nahrazena tímto sestaveným trackem.

Meteorologická data pocházela z výše zmíněného modelu TIGGE. Tento model poskytuje hodnoty zonální a meridionální složky větru v několika standardních izobarických hladinách s rozlišením 0,5° zeměpisné šířky i délky.

Výpočet traťové rychlosti poté zahrnoval v každém známém bodě obou uvažovaných tratí zjištění směru i rychlosti větru v nejbližším bodě modelu TIGGE. Z těchto veličin, známé tratě letounu a známé pravé vzdušné rychlosti bylo možné vypočítat traťovou rychlost letounu v každém dostupném bodě. Z průměru všech těchto spočtených pravých vzdušných rychlostí a známé délky tratě se spočítal potřebný čas průletu s uvažováním vlivu JTST. Nakonec proběhlo výše uvedené porovnání časů těchto letů.

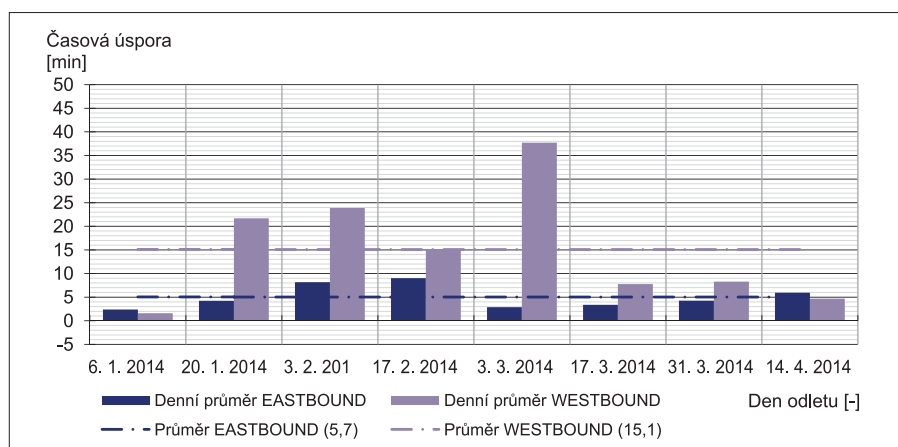
## 4.2 Výsledky

Vyhodnocení časových úspor letů na východ (Eastbound) a letů na západ (Westbound) při uvažování celých hladinových letů je na obr. 8. Z něj je zřejmé, že celkové časové úspory hladinových letů jsou velmi nevýrazné a že někdy dochází spíše



Obr. 8 Dosažené časové úspory všech letů v jednotlivých dnech a celkový průměr časových úspor letů na východ a na západ při hodnocení celých hladinových letů. Podle Švece 2014.

Fig. 8. Achieved time savings of all flights in individual days and time savings overall average of westbound and eastbound flights using cruise flight assessment. By Švec 2014.



Obr. 9 Dosažené časové úspory všech letů v jednotlivých dnech a celkový průměr časových úspor letů na východ a na západ při hodnocení oceánských částí letů. Podle Švece 2014.

Fig. 9. Achieved time savings of all flights in individual days and time savings overall average of westbound and eastbound flights using oceanic flight assessment. By Švec 2014.

k časovým ztrátám. Také je možné tvrdit, že větších úspor je dosaženo u letů na západ, které se tryskovému proudění vyhýbají. To však může být způsobeno tím, že u východních letů je hodnocení poměrně přísné, neboť se od sebe uvažované tratě odlišují méně, než je tomu u letů na západ.

Kvůli výše zmíněným důvodům byla posléze provedena také druhá část vyhodnocení, a to pouze oceánské části letu. Jedná se o kvalitativní hodnocení konstrukce samotného tracku, které nezahrnuje vliv odklonění letu od upravené ortodromické tratě. Track je vždy sestaven jako kompromis velké poptávky tratí, a nemůže být stejně výhodný pro všechny. Vzhledem ke konvergenci poledníků a proměnlivé hranici oceánského vzdušného prostoru není možné porovnat čas průletu celých tracků, neboť nemají stejnou délku jako část upravené ortodromické tratě procházející oceánským vzdušným prostorem. Proto byla provedena úprava délky tracku. Spočívala v nalezení střední zeměpisné délky oceánské části upravené ortodromické tratě, se kterou bylo počítáno od vstupního do výstupního bodu oceánského vzdušného prostoru. V této zeměpisné délce byl nalezen bod skutečné tratě letu, od něhož byla omezena pouze na délku oceánské části upravené ortodromické tratě; nalezená zeměpisná délka byla středem výsledné vzdálenosti.

Na omezených tratích se poté provedl stejný výpočet průletových časů. Výsledky zachycuje obr. 9. Na něm je vidět, že při hodnocení pouze oceánských částí letů jsou všechny hodnoty kladné, takže v každém případě bylo dosaženo časové úspory. Opět se projevují výraznější úspory u letů na západ.

Grafy mají poměrně vysoký stupeň korelace. Je však možné sledovat velkou odlišnost dosažených úspor v jednotlivých dnech. Z toho usuzujeme, že pro sestavení tratě letu využívající stabilně poměrně úsporný a dobře sestavený track lze vytěžít časové úspory pouze při vhodné pozici, intenzitě a tvaru tryskového proudění. Taková situace však nenastává vždy a z obr. 8 lze usoudit, že tomu tak je jen asi v polovině případů.

Příklad nevýhodné situace je uveden na obr. 10, kde je jasně vidět pochybná poloha tratí vzhledem k tryskovému proudění. Je však možné, že tracky byly takto sestaveny z důvodu nepřesné meteorologické předpovědi, případně byly sestaveny na základě silně převažující poptávky letů, pro něž mohly být výhodnější. Také je možné, že použitý model TIGGE generoval jiné výsledky, než model používaný oceánským střediskem řízení. Příčin, kvůli kterým nejsou takto zkonstruované tratě pro hodnocené lety výhodné, může být zkrátka mnoho.

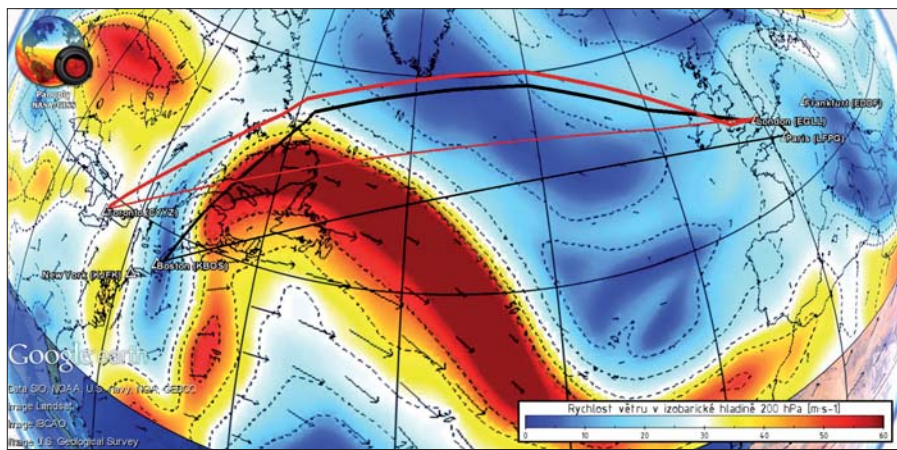
## 5. ZÁVĚR

Pro enormní růst letecké dopravy bylo nutné začít ji regulovat a dosáhnout tak bezpečného, plynulého a hospodárného provozu, který by zároveň dopravcům umožňoval při dodržení veškerých pravidel dosáhnout provozního zisku a jejich cestujícím zajistil bezpečnou, rychlou, jednoduchou a pohodlnou cestu do jejich destinací.

Provedené vyhodnocení se opíralo o málo přesná data, s jejichž využitím bylo zpracováno 47 vybraných letů. Jen část z nich byla z ilustrativních důvodů v článku prezentována. Použitými metodami hodnocení se podařilo prokázat, že využívání informací o tryskovém proudění vede k úsporám především, pokud se hodnotí samotná kvalita sestavení tracků. Ty jsou však sestaveny jako kompromis mezi mnoha požadavky, které prodlužují tratě celých hladinových letů, a úspora dosažená nad oceánem se tak může výrazně snížit nebo i zcela vyčerpat a nabýt záporných hodnot, tedy zdržení. Lze konstatovat, že současný systém a případné provozní úspory jsou poměrně silně závislé na poloze, intenzitě i tvaru tryskového proudění.

Dosažené časové úspory nenaplnily autorovo očekávání. Podle názoru leteckého odborníka Ing. Jaroslava Jonáka, Ph.D. se s ohledem na tryskové proudění plánují tratě příliš daleko od ortodromických tratí. Při takovém odchýlení již není možné očekávat výrazné časové a zřejmě ani finanční úspory. Existuje tedy prostor pro zdokonalení systému plánování tratí transatlantických letů.

Zavedený systém a organizace letecké dopravy nad Atlantickým oceánem je však tvořen především s ohledem na bezpečnost, a je nutné zmínit, že každý let se schváleným letovým plánem a oceánským povolením má právo na průlet a svůj prostor v poměrně hustém provozu. V současnosti se již pracuje na velmi nadějných technologiích, které by umožňovaly každé-



Obr. 10 Skutečné tratě (silně) a upravené ortodromické tratě (slabě) letů AFR333 a BAW93 dne 31. 3. 2014. Podle Švece 2014 (poklad: Google Earth, NASA GISS Panoply).

Fig. 10. Real flight tracks (thick) and modified great circle tracks (thin) of Flights AFR333 and BAW93 on 31 March 2014. By Švec 2014 (background: Google Earth, NASA GISS Panoply).

mu vybavenému letounu zajišťovat si své rozstupy autonomně, bez nutnosti řízení službou řízení oceánského letového provozu. Takový systém by přinesl možnost plánovat tratě a vertikální profily letu, které by ideálně využívaly tryskového proudění a přinášely tolik žádané zvýšení letových výkonů.

### Poděkování

Tento článek vznikl díky pomoci RNDr. Karla Kršky, CSc., kterému děkuji za cenné připomínky, opravy a značné množství času, které tomuto článku věnoval.

### Literatura:

- ICAO, 2013. NAT Doc 007. North Atlantic Operations and Airspace Manual. Edition 2013. Neuilly sur Seine: ICAO EUR/NAT Office. 200 s.
- KRAČMÁR, J., KRŠKA, K., SOBOTA, J., SVATOŠ, V., 2006. Meteorologie (050 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 305 s. ISBN 80-7204-447-8.
- Ministerstvo dopravy ČR, 2011. L 8400. Letecký předpis zkratky a kódy. Praha: Ministerstvo dopravy ČR. 108 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 710/2007-220-SP/2.
- Oxford Aviation Academy, 2001. Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence 050 METEOROLOGY: Theoretical knowledge manual. 1. vyd. Frankfurt: Oxford Aviation Services Limited & Jeppesen GmbH. 544 s. ISBN 08-848-7286-6.
- SOBÍŠEK, B. et al., 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vyd. Praha: Academia & Ministerstvo životního prostředí ČR. 594 s. ISBN 80-853-6845-5.
- ŠVEC, M., 2014 Využití tryskového proudění v civilní letecké dopravě. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 94 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Karel Krška, CSc. Dostupné online z: [https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp\\_id=72199](https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=72199)
- WMO, 2010. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: 2008 edition updated in 2010. Geneva: World Meteorological Organisation. 681 s. WMO-No. 8. ISBN 978-92-63-10008-5.
- WMO, 1966. International Meteorological Vocabulary. Geneva: World Meteorological Organization. 276 s. WMO/OMM/BMO – No. 182. TP. 91.

Lektor (Reviewer) RNDr. Bohumil Techlovský

# VLIV VÝVOJE REGIONÁLNÍHO KLIMATU NA EKOSYSTÉM LUŽNÍHO LESA V LETECH 1951–2012 ČÁST III. – BYLINY

Zdeněk Bauer, Jana Bauerová, Břenkova 15, 613 00 Brno, janabau39@seznam.cz

Pavel Lipina, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava-Poruba, lipina@chmi.cz

Milan Palát, Ústav demografie a aplikované statistiky, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, palat@mendelu.cz

**The impact of regional climate change on the floodplain forest ecosystem from 1951 to 2012. Part III. – Herbs.** The phenological observations and data which are presented and elaborated in this study were observed in Central Europe, in the southern part of the Czech Republic from 1951 to 2012. The experimental site is situated in an ecosystem of floodplain forest in an alluvial plain of the River Dyje near the town of Lednice in South Moravia (48°48'22" N, 16°46'32" E) in the forest type group Ulmi-Fraxineta carpini. Over a time span of 62 years, the average annual temperature in this area has increased by 1.5 °C, and the average spring temperature has increased by 2.0 °C. During the period observed, the dates of the beginning of the flowering of lungwort (*Pulmonaria officinalis*) advanced by 13.1 days and full flowering by 13.5 days, in the case of the yellow star of Bethlehem (*Gagea lutea*) the dates of the beginning of flowering advanced by 13.5 days and full flowering by 11.7 days, in the case of *Thalictrum thalictroides* (*Isopyrum thalictroides*) by 11.7 and 9.2 days, in the case of hollowroot (*Corydalis cava*) by 14.2 and 7.6 days, in the case of yellow anemone (*Anemonoides ranunculoides*) by 14.6 and 8.4 days, in the case of lesser celandine (*Ficaria verna*) by 12.0 and 7.3 days, in the case of wood vetch (*Viola reichenbachiana*) by 12.3 and 8.7 days, in the case of spring pea (*Lathyrus vernus*) by 8.4 and 6.0 days, in the case of herb Paris (*Paris quadrifolia*) by 10.4 and 11.0 days and ramsons (*Allium ursinum*) by 14.0 and 15.9 days. Overall, the phenological events of the herb component advanced the beginning of flowering by 12.4 days and full flowering by 9.9 days. The conclusion of this study is that the phenology of herbs in the floodplain forests of South Moravia has been influenced by regional climate change. It has changed in correlation with an increase of the annual and spring air temperatures. For each herb species, the sums of effective temperature with a threshold value of 5 °C were detected.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** byliny – les lužní – trendy fenologické – změna klimatu

**KEY WORDS:** herbs – floodplain forest – phenological trends – climate change

## 1. ÚVOD

Tento příspěvek je třetí částí studie na téma Vliv regionálního klimatu na ekosystém lužního lesa a je zaměřen na bylinnou složku habrojilmové jaseniny (*Ulmi-fraxineta carpini*) v období jarního aspektu, tj. rozkvět bylin před olistěním listnatých dřevin.

V jarním aspektu jsou zastoupeny vytrvalé byliny zvané geofyty, jejichž obnovovací orgány – hlízy, cibule a oddenky, jsou přes zimu pod zemí. Živiny obsažené v těchto zásobních orgánech umožňují bylinám velmi rychle vyrůst a rozkvést. Jarní geofyty vyžadují pro svůj vývin sluneční svit a teplo. Vlhkostní poměry po zimním období jsou pro vývin bylin vždy příznivé a živin je v habrojilmové jasenině dostatek až přebytek, což dosvědčují koberce kvetoucí sasanky pryskyřníkovité (obr. 1) a orseje jarního (obr. 2).

Jarní aspekt bylin je malou, ale významnou částí vegetačního období, ve kterém musí rychle proběhnout celý reprodukční proces jarních bylin. Předmětem této práce je fenologie souboru bylin vyskytujících se v jarním aspektu habrojilmové jaseniny.

Po olistění dřevin se mění mikroklima porostu a do reprodukčního procesu nastupuje jiný soubor bylinných druhů. Jako příklad lze uvést pryskyřník plazivý (*Ranunculus repens*), kakost smrdutý (*Geranium robertianum*), čistic lesní (*Stachys sylvatica*), vrbinu penízkovou (*Lysimachia nummularia*), pstroček dvoulistý (*Maianthemum bifolium*), krabulici chlupatou (*Chaerophyllum hirsutum*) a jiné druhy. Tento soubor bylin přesahuje rámec zde popisované studie a bude publikován při jiné příležitosti.

## 2. METODIKA

Fenologický výzkum bylinné složky lužního lesa probíhal v letech 1951–2012 na reprezentativní výzkumné ploše MBP (Mezinárodní biologický program), porost 455B, Horní les, k. ú. Lednice, lesní závod Židlochovice, která patří do skupiny lesních typů habrojilmové jaseniny (*Ulmi-fraxineta carpini*) – 1. lesní vegetační stupeň. Jde o stejnou výzkumnou plochu, na které probíhal fenologický výzkum stromů a keřů (Bauer, Bauerová, Lipina Palát 2014a, 2014b).

Pro výzkum vlivu změny klimatu na populace bylin byly vybrány následující druhy bylin jarního aspektu: plicník lékařský (*Pulmonaria officinalis*), křivatec žlutý (*Gagea lutea*), zapalice žlutuchovitá (*Isopyrum thalictroides*), dymnivka dutá (*Corydalis cava*), sasanka pryskyřníkovitá (*Anemonoides/Anemone ranunculoides*) (obr. 1), orsej jarní (*Ficaria verna*) (obr. 2), violka lesní (*Viola reichenbachiana*), hrachor jarní (*Lathyrus vernus*), vraní oko čtyřlísté (*Paris quadrifolia*) (obr. 3) a česnek medvědí (*Allium ursinum*).

Metodika výzkumu fenologie populací bylin byla již dříve popsána ve sborníku Českého meteorologického ústavu (Bauer, Lipina et al., 2012). Při této příležitosti poznamenáváme, že byly odebrány pro herbářovou dokumentaci jednotlivé druhy bylin od samého začátku jejich vývinu až po jejich plný rozkvět (obr. 4), aby byly následně použity pro vyhodnocení ve vztahu k aktuální teplotě vzduchu a jejich reakci na průběh povětrnostních podmínek.

Fenologický výzkum bylin probíhal v období nečekaně rychlého nárůstu teploty vzduchu v krátkém časovém období. Od roku 1951 až do roku 2000 stoupla průměrná jarní teplota o 1 °C, od roku 2001 do roku 2012 o další 1 °C a v roce 2014





Obr. 1 Kvetení sasanky pryskyřníkovité (*Anemonoides ranunculoides*). Foto J. Bauerová.

Fig. 1. Flowering of a yellow anemone (*Anemonoides ranunculoides*). Photo J. Bauerová.



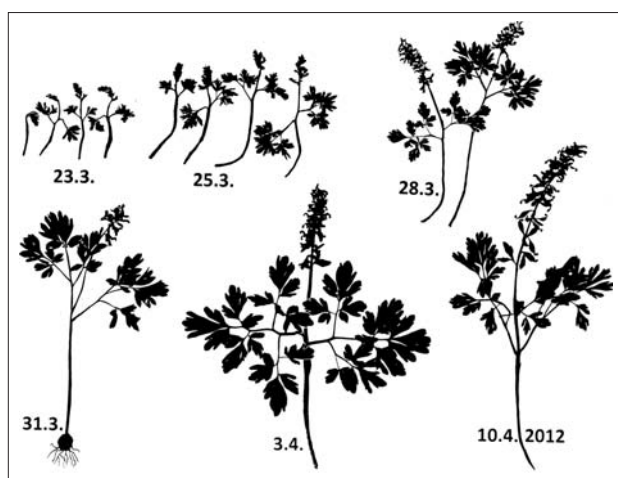
Obr. 2 Kvetení orseje jarního (*Ficaria verna*). Foto J. Bauerová.

Fig. 2. Flowering of a lesser celandine (*Ficaria verna*). Photo J. Bauerová.



Obr. 3 Kvetení vraního oka čtyřlístého (*Paris quadrifolia*). Foto J. Bauerová.

Fig. 3. Flowering of herb Paris (*Paris quadrifolia*). Photo J. Bauerová.



Obr. 4 Vývin dymnivky duté (*Corydalis cava*) v roce 2012, podle herbářových podkladů.

Fig. 4. Development of the leaves of hollowroot (*Corydalis cava*) in 2012 according to herbarium documents.

byl podle Českého hydrometeorologického ústavu začátek jara nejteplejší za posledních 240 let. Na tuto situaci reagovali rostliny i živočichové. Jako příklad lze uvést rašení listů u dubu letního, které začalo už v průběhu března, nebo začátek kladení vajec u populace sýkory koňadry také v průběhu března. Jde o extrémní hodnoty, které po celé dřívější období výzkumu nebyly nikdy zaznamenány. Na tuto situaci reagovaly i byliny – plicník lékařský a křivatec žlutý, jejichž začátek rozkvětu se v posledních letech přesouval do měsíce února.

Tato nečekaná a nová situace bude vyžadovat úpravu metodiky, zvláště při výpočtu sum hodnot efektivní teploty, které jsme vypočítávali od 1. března. S tím bude souviset i jiný přístup k vyhodnocování fenologie rostlin.

### 3. VÝSLEDKY

Průměrná roční teplota vzduchu vyhodnocená pomocí lineární regrese stoupla v letech 1951–2012, tj. za šedesát dva let, o 1,5 °C a v období kalendářního jara o 2 °C (Bauer et al. 2014a).

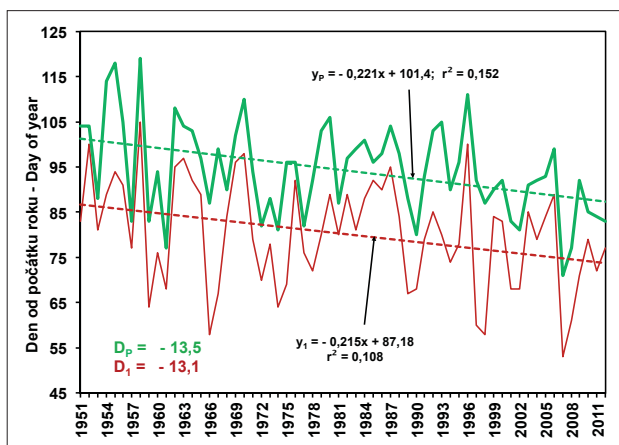
Vzrůstající teplota vzduchu za dané období nezůstala bez vlivu na fenologické projevy bylin.

#### 3.1 Časový posun fenologických fází u bylin

V habrojilmové jasenině (*Ulm-fraxineta carpini*) v letech 1951–2012 se při grafickém vyhodnocení u všech sledovaných druhů bylin prokázaly sestupné (záporné) trendy regresních přímek, a to jak u fenofáze začátku kvetení tak i u plného kvetení (obr. 5–14). Největší posun fenofází kvetení byl zjištěn u sasanky pryskyřníkovité (*Anemonoides/Anemone ranunculoides*) a nejmenší u hrachoru jarního / lechy jarní (*Lathyrus vernus*) (tab. 1). Průměrný posun všech sledovaných druhů bylin do dřívější doby byl u prvých květů 12,5 dnů a u plného kvetení 9,9 dnů. Fenologické trendy prvých květů a plného kvetení u sledovaných druhů bylin byly v souladu se stoupající jarní teplotou vzduchu.

#### 3.2 Rozkvétání jednotlivých druhů bylin v průběhu jarního aspektu

Byliny v průběhu jarního aspektu, tj. před olistěním dřevin, nenastupují do reprodukčního procesu jednotně ve stejnou dobu, ale postupně. V habrojilmové jasenině nejdříve rozkvétá plicník lékařský (*Pulmonaria officinalis*), následován v rychlém časovém sledu křivatecem žlutým (*Gagea*



Obr. 5 Posun fenofází prvých květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u plicníku lékařského (*Pulmonaria officinalis*) za období 1951–2012.

Vysvětlivky:  $y_1$  – regresní přímka proložená průměrnými daty začátku kvetení v jednotlivých letech; 87,18 (87. den od počátku roku) je hodnota přímky v roce 1951.  $D_1$  je rozdíl hodnot přímky v letech 1951 a 2012 a představuje posun průměrných dat začátku rašení listů za období šedesáti dvou let o 13,1 dní.  $y_p$  – regresní přímka proložená průměrnými daty plného olistění; 101,4 (101. den od počátku roku) je hodnota přímky v roce 1951.  $D_p$  je rozdíl hodnot přímky v letech 2012 a 1951 a představuje posun průměrných dat plného olistění za období šedesáti dvou let o 13,5 dní.

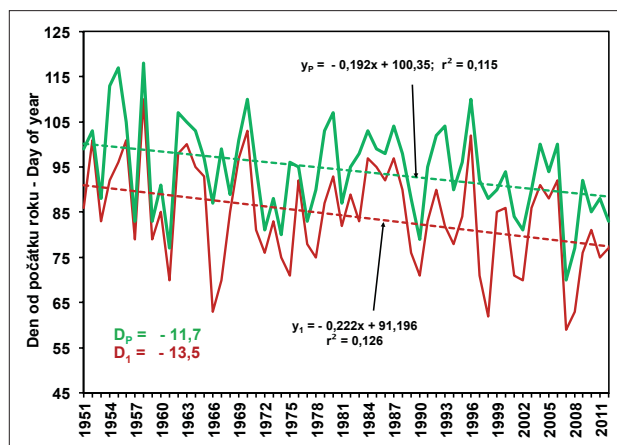
Fig. 5. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the lungwort (*Pulmonaria officinalis*) in the period 1951–2012 from the Lednice locality.

Legend:  $y_1$  – regression line derived from the average dates of the beginning of flowering each year; 87.18 (87<sup>th</sup> day from the beginning of the year) is the value of the straight line in 1951.  $D_1$  is the difference of the values of the straight line in 1951 and 2012, and it represents the shift of the average dates of the beginning of flowering by 13.1 days over a period of 62 years.  $y_p$  – regression line derived from the average dates of full flowering; 101.4 (101<sup>st</sup> day from the beginning of the year) is the straight line value in 1951.  $D_p$  is the difference of the values of the straight line in 1951 and 2012 and represents the shift of the average dates of full flowering by 13.5 days over a period of 62 years.

Tab. 1 Fenologický posun u bylin za období 1951–2012.

Table 1. Phenological shift in herbs from 1951–2012.

Druh Species	Fenologický posun Phenological shift	
	První květy First flower	Plné kvetení Full flowering
	D <sub>1</sub> (dny – days)	D <sub>p</sub> (dny – days)
Plicník lékařský <i>Pulmonaria officinalis</i>	-13,1	-13,5
Křivatec žlutý <i>Gagea lutea</i>	-13,5	-11,7
Zapalice žlutuchovitá <i>Isopyrum thalictroides</i>	-11,7	-9,2
Dymnivka dutá <i>Corydalis cava</i>	-14,2	-7,6
Sasanka pryskyřníkovitá <i>Anemonoides ranunculoides</i>	-14,6	-8,4
Orsej jarní <i>Ficaria verna</i>	-12,6	-7,4
Violka lesní <i>Viola reichenbachiana</i>	12,3	-8,7
Hrachor jarní <i>Lathyrus vernus</i>	-8,4	-6,0
Vraní oko čtyřlísté <i>Paris quadrifolia</i>	-10,4	-11,0
Česnek medvědí <i>Allium ursinum</i>	-14,0	-15,9



Obr. 6 Posun fenofází prvých květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u křivatec žlutého (*Gagea lutea*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 6. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the yellow star of Bethlehem (*Gagea lutea*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.

*lutea*), zapalíc žlutuchovitou (*Isopyrum thalictroides*), dymnivkou dutou (*Corydalis cava*), sasankou pryskyřníkovitou (*Anemonoides/Anemone ranunculoides*), orsejem jarním (*Ficaria verna*), violkou lesní (*Viola reichenbachiana*) a hrachorem jarním (*Lathyrus vernus*). S určitým časovým odstupem nastupuje do rozkvětu vraní oko čtyřlísté (*Paris quadrifolia*) a česnek medvědí (*Allium ursinum*). U uvedených druhů bylin je pozoruhodný neobyčejně rychlý nástup rozkvětu (1. květ), což je patrné zvláště u souboru bylin od plicníku lékařského po hrachor jarní. Tyto byliny postupně rozkvétají v rozmezí jednoho až pěti dnů.

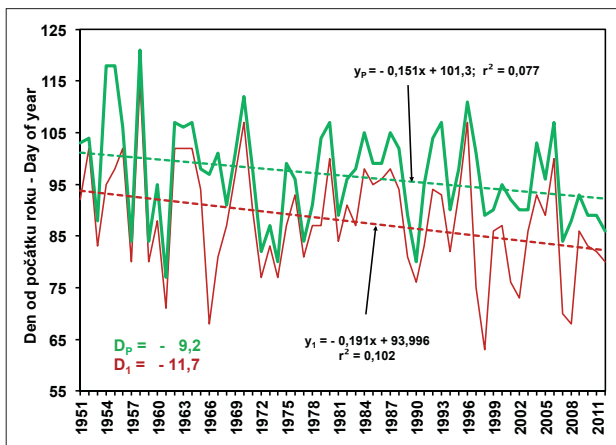
Konkrétní průměrné údaje o začátku kvetení a plném kvetení včetně směrodatných odchylek za období 1951 až 2012 jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Průměrná data prvního květu a plného kvetení a odpovídající sumy efektivních teplot za období 1951–2012 ( $x$  – průměr,  $s_x$  – směrodatná odchylka).

Table 2. Average dates of the first flower and full flowering and corresponding sums of effective temperatures from 1951–2012 ( $x$  – average,  $s_x$  – standard deviation).

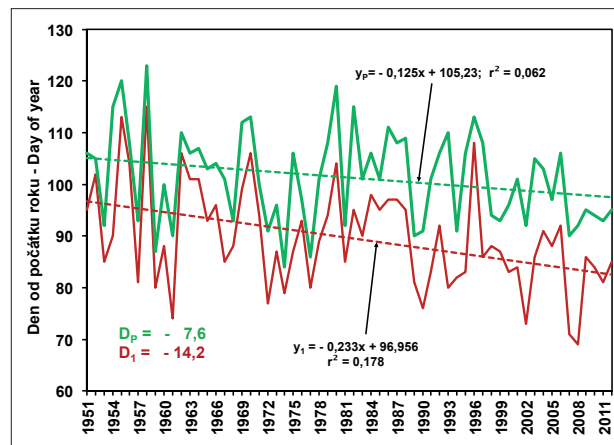
Druh Species	Datum Date		Suma efektivních teplot Sum of effective temperature	
	První květy First flower	Plné kvetení Full flowering	První květy First flower	Plné kvetení Full flowering
	$\bar{x}$ ( $s_x$ )	$\bar{x}$ ( $s_x$ )	$\bar{x}$ ( $s_x$ )	$\bar{x}$ ( $s_x$ )
Plicník lékařský <i>Pulmonaria officinalis</i>	21. 3. (11,9)	4. 4. (10,4)	23,3 (12,9)	64,4 (12,8)
Křivatec žlutý <i>Gagea lutea</i>	25. 3. (11,3)	4. 4. (10,2)	33,6 (14,3)	63,8 (14,3)
Zapalice žlutuchovitá <i>Isopyrum thalictroides</i>	29. 3. (10,7)	7. 4. (9,8)	39,0 (14,3)	70,0 (15,8)
Dymnivka dutá <i>Corydalis cava</i>	31. 3. (10,0)	11. 4. (9,0)	42,0 (12,6)	89,3 (14,0)
Sasanka pryskyřníkovitá <i>Anemonoides ranunculoides</i>	1. 4. (10,3)	15. 4. (9,4)	49,4 (13,8)	105,2 (13,8)
Orsej jarní <i>Ficaria verna</i>	3. 4. (9,5)	16. 4. (9,2)	55,6 (14,4)	110,9 (14,0)
Violka lesní <i>Viola reichenbachiana</i>	8. 4. (9,2)	19. 4. (8,9)	76,2 (16,2)	128,6 (16,9)
Hrachor jarní <i>Lathyrus vernus</i>	13. 4. (9,2)	22. 4. (8,5)	99,4 (16,6)	146,3 (17,2)
Vraní oko čtyřlísté <i>Paris quadrifolia</i>	24. 4. (7,8)	2. 5. (7,3)	158,7 (17,3)	219,0 (18,1)
Česnek medvědí <i>Allium ursinum</i>	30. 4. (8,0)	11. 5. (8,0)	200,0 (24,3)	295,6 (28,3)





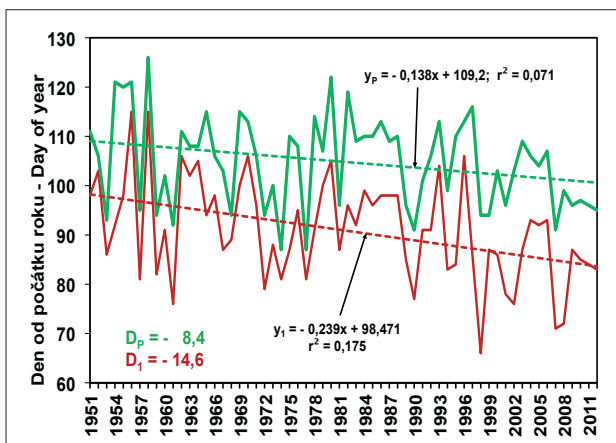
Obr. 7 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u zapalce žluťuchovité (*Isopyrum thalictroides*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 7. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of *Thalicttrum thalictroides* (*Isopyrum thalictroides*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  and  $D_p$  same as in Fig 5 Legend



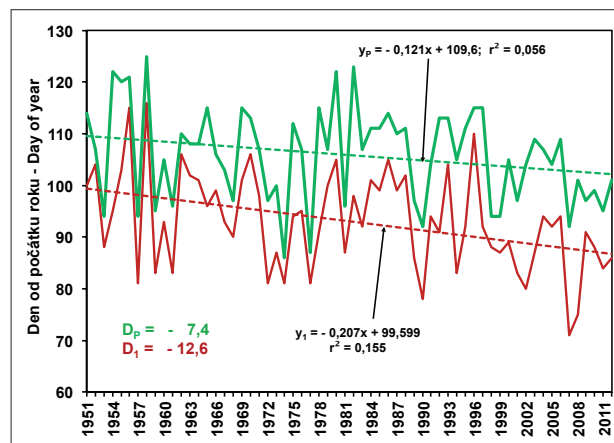
Obr. 8 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u dymnivky duté (*Corydalis cava*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 8. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the hollowroot (*Corydalis cava*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.



Obr. 9 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u sasanky pryskyřníkovité (*Anemonoides ranunculoides*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 9. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the yellow anemone (*Anemonoides ranunculoides*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.



Obr. 10 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u orseje jarního (*Ficaria verna*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 10. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the lesser celandine (*Ficaria verna*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_i$ ,  $y_p$ ,  $D_i$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.

### 3.3 Teplotní požadavky jednotlivých druhů bylin na fenofáze kvetení

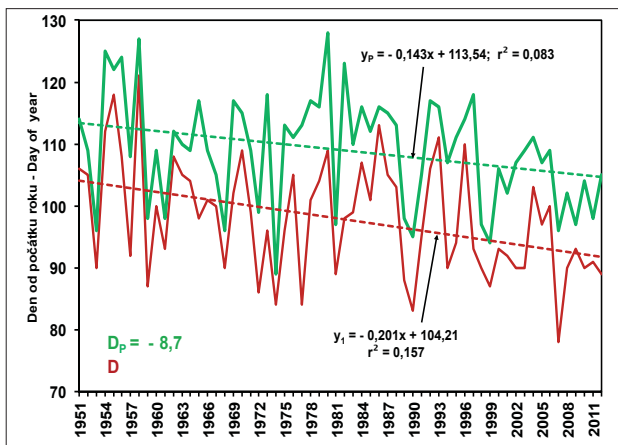
Pro začátek fenofáze kvetení a fenofáze plného kvetení potřebuje každý bylinný druh konkrétní sumu efektivních teplot, která musí být dosažena, aby mohl nastat reprodukční proces. V tab. 2. jsou uvedeny tyto hodnoty získané z terénního výzkumu po období 62 let pro jednotlivé druhy bylin. Nejnižší sumu hodnot efektivní teploty pro začátek kvetení (23,3 °C) a pro plné kvetení (64,4 °C) má plicník lékařský (*Pulmonaria officinalis*). Požadované sumy hodnot efektivní teploty u sledovaných druhů bylin se postupně zvyšovaly a nejvyšší sumu hodnot efektivní teploty pro fenofáze kvetení (pro první květ 200 °C a pro plné kvetení 295,6 °C) vyžaduje česnek medvědí (*Allium ursinum*).

### 3.4 Extrémní data začátku kvetení bylin

V tab. 3 jsou uvedena data nejdřívějších, průměrných a nejpozdějších začátků kvetení pro jednotlivé druhy bylin za období 1951–2012.

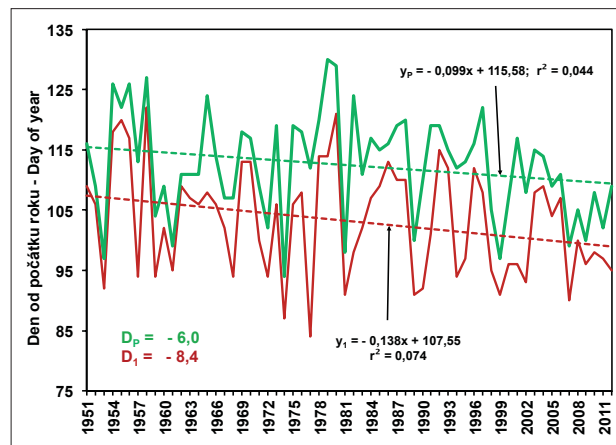
Hodnoty v tabulce neukazují vliv konkrétního průběhu teploty na fenofázi kvetení. Přímý vliv teploty vzduchu na začátek, průběh a délku fenofáze kvetení v jednotlivých letech lze ukázat při extrémně nízkých nebo extrémně vysokých průměrných a maximálních denních hodnotách teploty vzduchu v jarním období. Proto byly ze souboru pozorování fenologických fází bylin za období šedesáti dvou let vybrány fenofáze s nejkratším a nejdelším průběhem. Jako příklad byla vybrána sasanka pryskyřníkovitá (*Anemonoides ranunculoides*) z let 1952 a 1954 a orsej jarní (*Ficaria verna*) z let 1952 a 1954. K vybraným fenofázím jednotlivých let byly přiřazeny údaje o průměrných a maximálních denních hod-





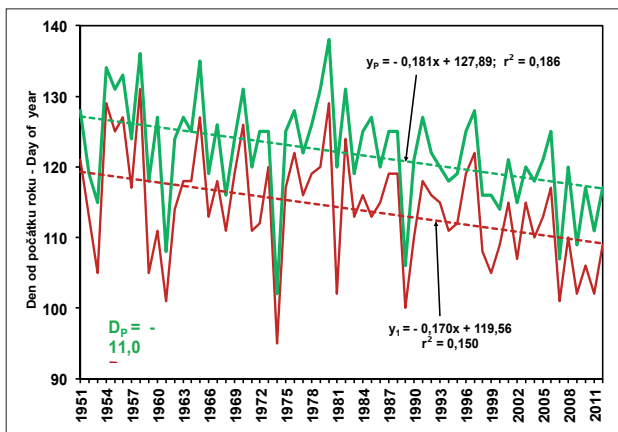
Obr. 11 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u violky lesní (*Viola reichenbachiana*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 11. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the wood vetch (*Viola reichenbachiana*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.



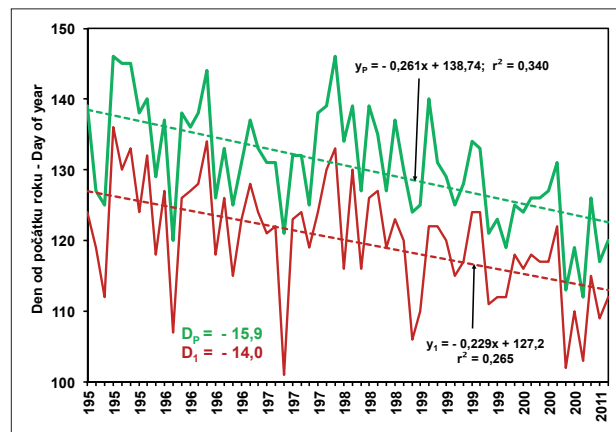
Obr. 12 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u hrachoru/lechý jarního (*Lathyrus vernus*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 12. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of the spring pea (*Lathyrus vernus*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.



Obr. 13 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u vraního oka čtyřlístého (*Paris quadrifolia*) a období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 13. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of herb Paris (*Paris quadrifolia*) in the period 1951–2012 at the Lednice locality. Explanations of the values  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.



Obr. 14 Posun fenofází prvních květů (dolní část obrazu) a plného kvetení (horní část obrazu) u česneku medvědího (*Allium ursinum*) za období 1951–2012. Vysvětlení hodnot  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  a  $D_p$  jako u obr. 5.

Fig. 14. The phenological shift of the start of flowering (the lower part of the picture) and full flowering (the upper part of the picture) in the case of ramsons (*Allium ursinum*) in the period 1951–2012 at the Lanžhot locality. Explanations of the values  $y_1$ ,  $y_p$ ,  $D_1$  and  $D_p$  same as in Fig. 5 Legend.

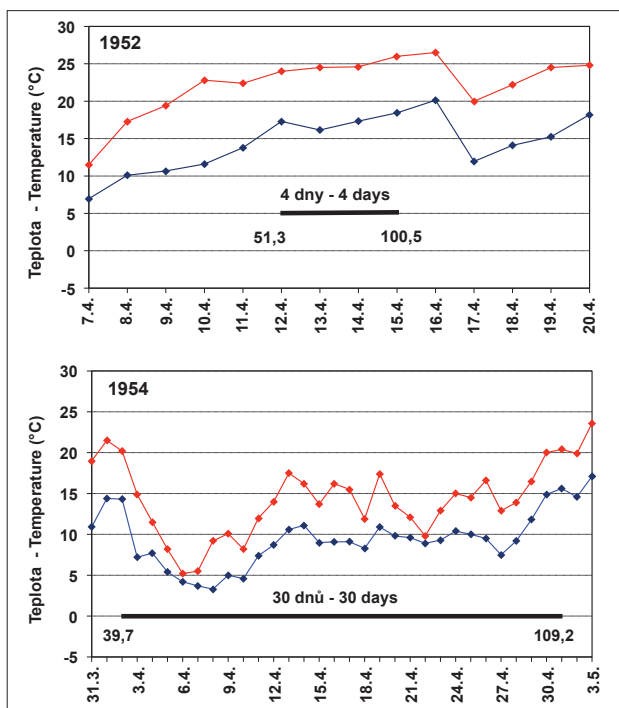
notách teploty. Další příklady vlivu teploty na délku fenofáze kvetení není potřebné uvádět, protože obdobným způsobem reagovaly jak keře, tak i stromy (Bauer et al., 2014a, Bauer et al., 2014b).

Na obr. 15 je znázorněn začátek a délka fenologické etapy od prvního květu do plného kvetení sasanky pryskyřníkovité, (*Anemonoides ranunculoides*). Při průměrné denní teplotě 17,7 °C a průměrné maximální denní teplotě 24,8 °C proběhla tato fenologická fáze v roce 1952 za 4 dny. V průběhu těchto čtyř dnů byla k dosažení plného kvetení potřebná suma hodnot efektivní teploty ve výši 37 °C. Opakem je průběh stejné fenologické fáze u téhož druhu při extrémně nízké, průměrné a maximální denní teplotě. V roce 1954 trvala tato fenologická fáze 30 dnů, přičemž průměrná denní teplota byla 7,0 °C a průměrná maximální denní teplota 11,6 °C. V průběhu těchto 30 dnů dosáhla suma hodnot efektivní teploty 65,9 °C.

Na začátku fenologické fáze prvního květu orseje jarní-

ho (*Ficaria verna*) v roce 1952 dosáhla suma hodnot efektivní teploty výše 62,5 °C a v roce 1954 52,0 °C (obr. 16). Při průměrné denní teplotě 18,0 °C a průměrné maximální denní teplotě 25,4 °C proběhla tato fenologická fáze v roce 1952 za čtyři dny. V průběhu těchto čtyř dnů byla k dosažení plného kvetení potřebná suma hodnot efektivní teploty ve výši 40,9 °C. Opakem byl průběh stejné fenologické fáze u téhož druhu za extrémně nízké, průměrné a maximální denní teploty. V roce 1954 trvala tato fenologická fáze 27 dnů, přičemž průměrná denní teplota byla 6,9 °C a průměrná maximální denní teplota byla 11,5 °C. V průběhu těchto 27 dnů dosáhla suma hodnot efektivní teploty 53,6 °C.

Z uvedených příkladů vyplývá, že teplota kontroluje rychlost fenologické etapy kvetení bylin. Souvisí to s jejich fyziologickou aktivitou. Vyšší teplota výrazně zkracuje fenofázi kvetení a nižší teplota tuto fenofázi prodlužuje. Teplota tedy ovlivňuje vzájemný vztah mezi okolím a vnitřními fyziolo-



Obr. 15 Vliv průměrné (modrá) a maximální (červená) denní teploty na délku etapy rozkvétání sasanky pryskyřníkovité (*Anemonoides ranunculoides*) při vyšší teplotě – rok 1952 a při nízkých teplotách – rok 1954.  
 Fig. 15. The influence of mean (blue) and maximal (red) daily temperatures on the length of the flowering of the yellow anemone (*Anemonoides ranunculoides*) within high temperatures – 1952 and within low temperatures – 1954.

gickými procesy u bylin a obecně i u rostlin, a má tak, z komplexu faktorů prostředí, zásadní vliv na změnu délky trvání jednotlivých fází růstu včetně fáze kvetení.

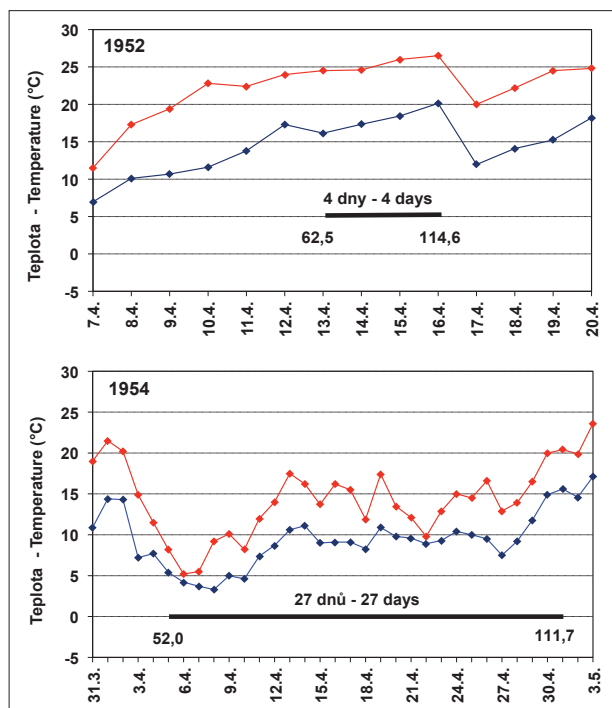
#### 4. DISKUSE

Studii věnovaných fenologii bylin je u nás i v zahraničí velmi málo.

V České republice vyšel v roce 2013 Sborník Českého hydrometeorologického ústavu, svazek 59, zaměřený na vybrané lesní byliny (Hájková a kol., 2013), zahrnující období 1991–2010. Fenologické pozorování se týkalo těchto druhů bylin: blatouch bahenní (*Caltha palustris*), jahodník obecný (*Fragaria vesca*), konvalinka vonná (*Convallaria majalis*), kopretina bílá (*Chrysanthemum leucanthemum*), pryskyřník prudký (*Ranunculus acris*), psárka luční (*Alopecurus pratensis*), sasanka hajní (*Anemonoides nemorosa*), sněženka podsněžník (*Galanthus nivalis*), srha říznačka (*Dactylis glomerata*), třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*) a jejich fenologického posunu od nížin (200 m n. m.) do vyšších poloh (800 m n. m.). Práce je detailně zpracována a vzorově upravena, ale je nutné zvážit, zda psárka luční a srha říznačka jsou přirozenou součástí bylinné složky vyspělého a zapojeného lesa.

Srovnání výsledků fenologie bylin z výše uvedené práce a námi publikované práce o fenologii bylin lužního lesa není možné, protože sledované soubory bylin nejsou druhově shodné. Rovněž zaměření obou prací je odlišné. Další rozdíly jsou v délce a v odlišnosti fenologických pozorování.

Ze zahraniční literatury je pozoruhodná práce Sparks a kolektivu (Sparks et al., 2009), která má biogeografický charakter a je zaměřena na srovnání fenologie vybraných druhů bylin v Anglii a v Polsku (Bělověžský prales). Obě místa fenologických pozorování se nacházejí na téže zeměpis-



Obr. 16 Vliv průměrné (modrá) a maximální (červená) denní teploty na délku etapy rozkvétání orseje jarního (*Ficaria verna*) při vyšší teplotě – rok 1952 a při nízkých teplotách – rok 1954.  
 Fig. 16. The influence of mean (blue) and maximal (red) daily temperatures on the length of the flowering of the lesser celandine (*Ficaria verna*) within high temperatures – 1952 and within low temperatures – 1954.

né šířce. V období let 1964–2007 byly sledovány fenologické posuny vybraných druhů bylin do dřívější doby v důsledku klimatické změny, a to u sasanky hajní (*Anemonoides nemorosa*), jaterníku trojlaločného (*Hepatica nobilis*), štavelu kyselého (*Oxalis acetosella*), violky lesní (*Viola reichenbachiana*), violky Rivinovy (*Viola riviniana*), pitulníku žlutého (*Lamium galeobdolon*) a pstročku dvoulistého (*Maianthemum bifolium*).

Tab. 3 Extrémní data začátku kvetení.

Table 3. Extreme dates of the beginning of flowering.

Druh Species	Datum začátku kvetení Date of the beginning of flowering		
	Nejdřívejší First of all	Průměrné Average $\bar{x}$ ( $s_x$ )	Nejpozdější The latest
Plicník lékařský <i>Pulmonaria officinalis</i>	22. 2. 2007	21. 3. (11,88)	15. 4. 1958
Křiváček žlutý <i>Gagea lutea</i>	28. 2. 2007	25. 3. (11,29)	20. 4. 1958
Zapalice žluťuchovitá <i>Isopyrum thalictroides</i>	4. 3. 1998	29. 3. (10,72)	25. 4. 1958
Dymnivka dutá <i>Corvalis cava</i>	9. 3. 2008	31. 3. (9,96)	25. 4. 1958
Sasanka pryskyřníkovitá <i>Anemonoides ranunculoides</i>	7. 3. 1998	1. 4. (10,3)	25. 4. 1958
Orsej jarní <i>Ficaria verna</i>	12. 3. 2007	3. 4. (9,51)	26. 4. 1958
Violka lesní <i>Viola reichenbachiana</i>	19. 3. 2007	8. 4. (9,2)	1. 5. 1958
Hrabor jarní <i>Lathyrus vernus</i>	25. 3. 1977	13. 4. (9,2)	2. 5. 1977
Vraní oko čtvřilisté <i>Paris quadrifolia</i>	5. 4. 1974	24. 4. (7,8)	9. 5. 1954
Česnek medvědí <i>Allium ursinum</i>	11. 4. 1974	30. 4. (8,0)	16. 5. 1954

Ze sedmi sledovaných druhů bylin byla pouze violka lesní jediným bylinným druhem, který byl zastoupen v našem souboru bylin lužního lesa. Z fenologického srovnání začátku kvetení violky lesní mezi lokalitami v Anglii a v Polsku vyplývá, že průměrná data prvního květu nejsou shodná. Na zkoumané lokalitě v Anglii začala populace violky lesní kvést 8. dubna a v Polsku až 1. května, což je rozdíl 23 dnů. Fenologická pozorování violky lesní se týkají pouze 33 roků. Podle výsledků našich fenologických pozorování v lužním lese jsme zjistili první květ violky lesní 8. dubna, což je hodnota odpovídající fenologickému údaji z Anglie. Naše fenologické záznamy zahrnují období 62 let. Z uvedeného příkladu vyplývá, že fenologické srovnání vzhledem k rozdílnosti délek pozorování je velmi obtížné.

Cílem naší práce není provádět obdobné analýzy publikovaných fenologických pozorování v zahraničí, nýbrž zkoumat vliv klimatické změny na ekosystém vybraného typu lužního lesa, kde sledujeme fenologický nástup u složek lužního lesa – stromů, keřů a nyní i u bylin v jedné nadmořské výšce a v jednom typu lužního lesa. Dále zvláštní pozornost věnujeme výpočtu sum hodnoty efektivní teploty pro jednotlivé druhy rostlin, které jsou významnou informací o době začátku kvetení. V současné zahraniční literatuře této otázky není doposud věnována patřičná pozornost.

Významnou informací o fenologii bylin jarního a letního aspektu ze stejné skupiny lesních typů, které jsou předmětem našeho výzkumu, uvádí Vašíček (1985). Fenologické záznamy se týkají pouze jednoho roku 1971.

Z uvedených příkladů je patrná obtížnost srovnatelnosti našich fenologických pozorování s jinými autory.

## 5. ZÁVĚR

Byliny, obdobně jako keře i stromy, citlivě reagují na teplotu vzduchu a z dlouhodobého hlediska i na vývoj současného klimatu. U všech sledovaných druhů bylin v habrojilmové jasanině (*Ulm-fraxineta carpini*) se v letech 1951–2012

posunul začátek kvetení v průměru o 12,5 dní do dřívější doby a u plného kvetení o 9,9 dní při zvýšení jarní teploty o 2 °C. Zvýšení průměrné jarní teploty vzduchu za období šedesáti dvou roků o 2 °C nemělo negativní vliv na zdraví a reprodukční proces sledovaných druhů bylin.

## Literatura

- BAUER, Z., LIPINA, P. a kol., 2012. Vliv klimatické změny na populace rostlin a živočichů v lužním lese v období let 1951–2000 a poznámky k rokům 2001–2010. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, sv. 57. Praha, 78 s. + CD. ISBN 978-80-87577-06-6. ISSN 0232-0401.
- BAUER, Z., BAUEROVÁ, J., LIPINA, P., PALÁT, M., 2014a. Vliv vývoje regionálního klimatu na ekosystém lužního lesa v letech 1951–2012. Část I. – Stromy. *Meteorologické Zprávy*, roč. 67, č. 2, s. 48–52. ISSN 0026-1173.
- BAUER, Z., BAUEROVÁ, J., LIPINA, P., PALÁT, M., 2014b. Vliv vývoje regionálního klimatu na ekosystém lužního lesa v letech 1951–2012. Část II. – Keře. *Meteorologické Zprávy*, roč. 67, č. 5, s. 141–146. ISSN 0026-1173.
- HÁJKOVÁ, L., KOŽNAROVÁ, V., BACHANOVÁ, S., NEKOVÁŘ, J., 2013. Fenologické charakteristiky vybraných lesních bylin v Česku. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, sv. 59. Praha: ČHMÚ. 82 s. ISBN 978-80-87577-22-6. ISSN 0232-0401.
- SPARKS, T. H., JAROSZEWICZ, B., KRAWCZYK, M., TRYJANOWSKI, P., 2009. Advancing phenology in Europe's last lowland primeval forest: non-linear temperature response. *Climate research*, Vol. 39, s. 221–226.
- VÁŠÍČEK, F., 1985. Phenological observations. In: Penka, M., Vyskot, M., Klimo, E., Vašíček, F., 1985: Floodplain Forest Ecosystem I. Praha: Academia. s. 259–273.

*Lektoři (Reviewers) Ing. Lenka Hájková,  
Doc. Ing. Rudolf Bagar, CSc.*

## INFORMACE – RECENZE

### METEOROLOGICKÝ SLOVNÍK VÝKLADOVÝ A TERMINOLOGICKÝ

Česká meteorologická společnost (ČMeS) věnovala více než pětileté úsilí přípravě elektronické verze jedné ze základních meteorologických publikací dostupných v českém jazyce. Meteorologický slovník výkladový a terminologický byl vydán v roce 1993 jako výsledek mnohaleté práce širokého kolektivu, kterou dovedl do zdárného konce Bořivoj Sobíšek. Vydavatelství Academia společně s Ministerstvem životního prostředí vydalo 4 000 ks této velmi žádané knihy. Dnes již tento „bestseller“ není k dostání. I to bylo jedním z důvodů, proč ČMeS využila elektronickou verzi slovníku, kterou po publikaci prvního vydání sestavil dr. Sobíšek. Kód i struktura tohoto produktu nebyly zcela kompatibilní s moderními webovskými editory a databázemi, ale i tak to byla obrovská pomoc, která umožnila Terminologické komisi ČMeS postupně revidovat a modernizovat nebo potvrdit či doplnit, popř. navrhnout k vyřazení jednotlivá hesla.

V současné verzi slovníku bylo celkem takto revidováno 4 057 hesel, z nichž 2 049 bylo shledáno obsahově zcela v pořádku a proběhla u nich jen formální a gramatická úprava. Celkem 1 622 hesel bylo nutné doplnit o chybějící nebo

nové poznatky, 484 hesel bylo vypuštěno a 164 z nich bylo nahrazeno hesly modifikovanými. Ve slovníku bylo z historických důvodů zachováno mnoho starších, dnes již nepoužívaných pojmů a bylo k nim jen doplněno odpovídající vysvětlení. Nová verze Slovníku byla rovněž doplněna o 459 zcela nových hesel. Šlo zejména o hesla z oblasti matematického modelování, distančních měření, fyziky oblaků a srážek, fyziky aerosolů a z oblasti automatizace meteorologických technologií. Revize hesel byla doplněna i revizí českého a anglického rejstříku.

Meteorologická veřejnost najde aktualizovaný Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS) na webové adrese <http://slovník.cmes.cz/>. Za období prvních tří týdnů bylo zaregistrováno více než 400 přístupů na stránku eMS i několik konkrétních návrhů na úpravu a doplnění explikací. Současnou verzi eMS považuje Terminologická skupina ČMeS za Beta verzi, protože jsou připraveny další úpravy a nová hesla. Také nutná aktualizace dalších cizojazyčných rejstříků postupně probíhá. Slovník by neměl být uzavřeným produktem. Terminologická komise očekává návrhy a podnětné připomínky ze strany nejen členů ČMeS, ale i z řad veřejnosti.

*Radim Tolasz*



# MĚŘENÍ USAZENÝCH SRÁŽEK V ČESKÉ REPUBLICĚ V LETECH 2011–2013

Jaroslav Fišák, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Boční II 1401, 141 31 Praha 4-Spořilov, fisak@ufa.cas.cz  
Miroslav Tesař, Ústav pro hydromechaniku AV ČR, v. v. i., Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6, tesarihas@iol.cz

**Deposited precipitation measurement in the Czech Republic from 2011–2013.** The main topic of this study is the evaluation of the contribution of deposited precipitation (US) to the falling precipitation (PS) amount. An automatic device for US weight measurement developed and produced at the Institute of Atmospheric Physics was used. The tipping bucket rain gauges were used for the PS measurement. The present article summarizes the results of the measurements of deposited and falling precipitation in three localities: Prague-Suchdol (capital of the Czech Republic), Poledník (Bohemian Forest) and Smědava (the Jizerské hory Mts.). The two latter stations are situated in the mountainous part of the Czech Republic. For each of stations mentioned, the daily averages of the US totals were determined by the value: 0.074 mm for Suchdol, 0.112 mm for Poledník, and 0.103 mm for Smědava. Further, the mean daily US sums were evaluated for the days with the occurrence of this precipitation only by the values 0.136 mm, 0.276 mm, and 0.289 mm for the Suchdol, Poledník, and Smědava stations, respectively. The results obtained were compared with the findings published in the literature. In the each of stations, the ratio between deposited and falling precipitation was determined as well. For the Suchdol station, this ratio reached 95.2% in December 2013.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** srážky usazené – rosoměr – úhrn srážkový – rosa

**KEY WORDS:** deposited precipitation – dew gauge – precipitation amount – dew

## 1. ÚVOD

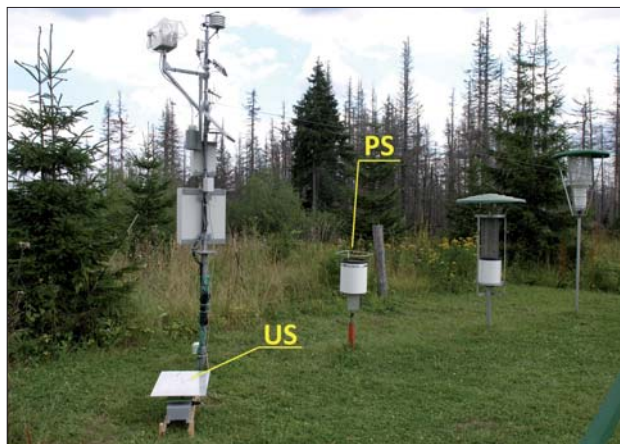
Srážky rozdělujeme na padající a usazené. Padající srážky, někdy též nazývané vertikální, tvoří podstatnou část srážek. Tyto srážky jsou poměrně snadno kvantifikovatelné a rovněž u nich není problém získat jejich chemicky analyzovatelný vzorek.

Usazené srážky jsou srážky, které vznikají kondenzací, příp. depozicí vodní páry na porostech nebo předmětech v přízemní vrstvě atmosféry, jejichž teplota klesla na teplotu rosného bodu nebo níže. Jedná se o rosu, zmrzlou rosu, jínovatku (jíní, šedý mráz). Mezi usazené srážky počítáme i srážky usazené z mlhy nárazem vodních kapiček na překážku vlivem proudění vzduchu nebo vlivem jejich pádové rychlosti. Zatímco pro kapalně usazené srážky z mlhy neexistuje speciální název těchto srážek, pevně usazené srážky z mlhy nazýváme námrazou. Usazené srážky tvoří v našich podmínkách velmi malou a obtížně kvantifikovatelnou, část srážek. Z usazených srážek z mlhy lze nejnádhěji kvantifikovat jejich pevnou formu, tedy námrazu. U námrazy lze i poměrně snadno

odebrat chemicky analyzovatelný vzorek oškrábáním námrazy z předmětů s inertním povrchem.

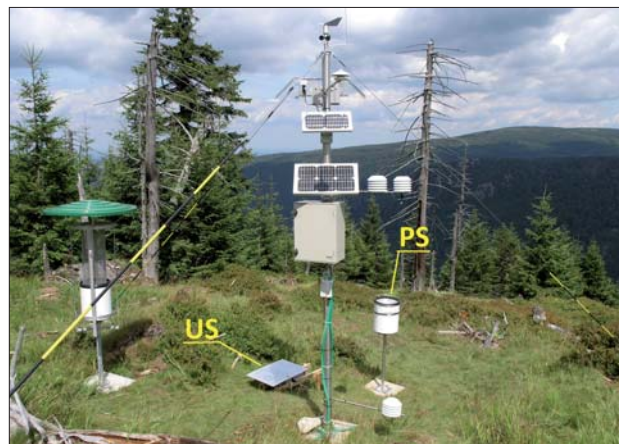
V literatuře lze nalézt příspěvky, které se zabývají snahou o kvantifikaci usazených srážek (Beysens et al. 2003, 2006a a 2006b; Muselli et al. 2002 a 2006b) pro některá místa ve Francii, (Mileta et al. 2004; Muselli et al. 2009) pro stanoviště z Chorvatska, (Jakobs et al. 2008) pro centrální část Holandska, (Clus et al. 2008) pro Tahiti, (Nilson 1996) pro Švédsko a Tanzanii, (Singh et al. 2005; Sharan et al. 2011) pro Indii, (Chiwa et al. 2008) pro Japonsko, (Galek et al. 2012) pro Polsko, (Clus et al. 2013) a (Lekouch et al. 2011) pro Maroko.

Kvantifikace usazených srážek ve výše uvedených případech proběhla jako vedlejší produkt snahy získat chemicky analyzovatelný vzorek usazených srážek. Ve všech případech se jednalo o rosu. Sběr rosy se uskutečnil na zařízení tvořeném ohraničenou, teflonem potaženou deskou o rozměrech 1×1 m. Usazené srážky byly manuálně staženy stěrkou do sběrné nádoby a zváženy.



Obr. 1 Stanoviště Poledník (automatický rosoměr – označen US a člunkový srážkoměr – označen PS).

Fig. 1. Poledník location (automatic dew gauge – signed US, and tipping rain gauge – signed PS).



Obr. 2 Stanoviště Smědava (automatický rosoměr – označen US a člunkový srážkoměr – označen PS).

Fig. 2. Smědava location (automatic dew gauge – signed US, and tipping rain gauge – signed PS).

Tab. 1 Vyhodnocení srážkových úhrnů v Praze-Suchdole.

Table 1. Evaluation of precipitation amount at the Prague-Suchdol locality (US – deposited precipitation amount, PS – falling precipitation amount, DUS – number of days with deposited precipitation, DM – number of days with measurement).

Rok	Charakteristika	Měsíc												Suma
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
2011	US [mm]	–	–	1,5	1,4	2,2	1,3	2,0	4,7	–	–	–	–	13,1
	PS [mm]	–	–	25,2	20,6	34,6	57,1	114,4	65,1	–	–	–	–	317,4
	DUS	–	–	23	20	22	13	1	26	–	–	–	–	123
	DM	–	–	31	30	31	30	31	31	–	–	–	–	184
	US/PS [%]	–	–	6,0	6,8	6,4	2,3	1,7	7,2	–	–	–	–	4,1
2012	US [mm]	0,1	1,9	2,6	2,3	2,0	2,0	1,4	2,5	2,0	2,5	2,3	2,3	23,9
	PS [mm]	36,0	7,2	3,5	40,8	20,0	47,5	103,2	26,3	23,5	44,2	50,0	54,8	457,0
	DUS	2	14	17	20	20	20	8	15	11	17	17	13	174
	DM	12	23	31	30	31	30	15	23	18	31	30	31	305
	US/PS [%]	0,3	26,4	74,3	5,6	10,0	4,2	1,4	9,5	8,5	5,7	4,6	4,2	5,2
2013	US [mm]	1,7	1,6	1,5	1,5	1,0	1,9	2,0	1,1	1,9	3,6	2,0	4,0	23,8
	PS [mm]	44,6	41,2	18,5	21,1	95,5	30,9	67,1	17,1	35,3	43,5	4,2	4,2	423,2
	DUS	6	7	11	10	9	15	15	7	15	21	11	22	149
	DM	31	28	31	28	31	30	24	13	30	31	30	31	338
	US/PS [%]	3,8	3,9	8,1	7,1	1,0	6,1	3,0	6,4	5,4	8,3	47,6	95,2	5,6
Total	US [mm]	1,8	3,5	5,6	5,2	5,2	5,2	5,4	8,3	3,9	6,1	4,3	6,3	60,8
	PS [mm]	80,6	48,4	47,2	82,5	150,1	135,5	285,1	108,5	58,8	87,7	54,2	59,0	1 197,6
	DUS	8	21	51	50	51	48	42	48	26	38	28	35	446
	DM	43	51	93	88	93	90	70	67	48	62	60	62	827
	US/PS [%]	2,2	7,2	11,9	6,3	3,5	3,8	1,9	7,6	6,6	7,0	7,9	10,7	5,1
US	[mm.den <sup>-1</sup> ]	0,042	0,069	0,060	0,059	0,056	0,058	0,077	0,124	0,081	0,098	0,072	0,102	0,074
	[mm. (den s US) <sup>-1</sup> ]	0,225	0,167	0,110	0,104	0,102	0,108	0,129	0,173	0,150	0,161	0,154	0,180	0,136
PS	[mm.den <sup>-1</sup> ]	1,874	0,949	0,508	0,938	1,614	1,506	4,073	1,619	1,225	1,415	0,903	0,952	1,448

Legenda:

US – úhrn usazených srážek

PS – úhrn padajících srážek

DUS – počet dnů s výskytem usazených srážek

DM – počet dnů měření

U nás se problematice rosy a její kvantifikaci věnoval například Krhounek (1956). V jeho příspěvku jsou údaje o množství usazených srážek získány tzv. Duvdevaniovou metodou (Duvdevani 1947). Měření množství rosy touto metodou bylo v Československu zavedeno v roce 1949 a zaniklo v šedesátých letech 20. století.

V předešlých příspěvcích jsme se zde zabývali možnostmi automatického měření množství usazených srážek (Fišák et al. 2013 a 2014) a porovnáním automatického způsobu měření množství usazených srážek s měřením Duvdevaniovou metodou (Fišák a Mekonen 2014). V tomto příspěvku se chceme zaměřit na vyhodnocení měření usazených srážek pomocí automatického rosoměru a porovnání dosažených výsledků s výsledky uvedenými v zahraničních publikacích, včetně výsledků uvedených v práci Krhounek (1956).

## 2. STANOVIŠTĚ

Nejdelší řada měření usazených srážek automatickým rosoměrem je k dispozici z Prahy-Suchdola na stanovišti Ústavu fyziky atmosféry AVČR, v. v. i. Popis tohoto stanoviště může zájemce nalézt např. ve (Fišák et al. 2013; Fišák et al. 2014), proto se zde zaměříme na dvě další stanoviště, která byla osazena automatickým rosoměrem ve 2. polovině roku 2013; jsou to Poledník v Národním parku Šumava a Smědava v CHKO Jizerské hory. Obě stanoviště patří Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i. Jsou vybavena automatickou meteorologickou stanicí s dálkovým přenosem dat. Stanice Poledník je umístěna na vrcholu hory Poledník v nadmořské výšce 1 315 m v Národním parku Šumava (obr. 1). Rovněž stanice Smědava je horského typu, leží na vrcholu Smědávské hory v nadmořské výšce 1 084 m (obr. 2). Na obou obrázcích je vidět i přístrojové vybavení stanic, včetně umístění člunových (překlopných) srážkoměrů na měření padajících srážek (PS) a automatických rosoměrů na měření usazených srážek (US).

žek (PS) a automatických rosoměrů na měření usazených srážek (US).

## 3. METODY A MATERIÁLY

Způsob vyhodnocení usazených srážek pomocí automatického rosoměru je popsán v (Fišák et al. 2013; Fišák et al. 2014).

K dispozici byly vyhodnocené záznamy množství usazených srážek ze stanice Praha-Suchdol za období březen až říjen 2011 a leden 2012 až prosinec 2013. Stanice Poledník a Smědava byly osazeny automatickým rosoměrem až ve 2. polovině roku 2013. Z tohoto důvodu jsou období měření velmi krátká, a jsou zde zahrnuta především pro možnost porovnání výsledků měření v malých a velkých nadmořských výškách. Na Poledníku bylo k dispozici měření od 27. 8. do 15. 10. 2013. Protože se zde v zimě vyskytuje značná sněhová pokrývka, měření je v zimě přerušeno z důvodu chybějící lidské obsluhy, která by sněh napadaný na přístroj odklízela. Přístroj se ze stanice na zimu odstraňuje. Totéž platí i pro stanici Smědava, kde byla k dispozici data od 16. 8. do 16. 9. 2013. Úhrny padajících srážek v této studii jsou počítány od 00:00 do 23:59 hodin SEČ, na rozdíl od v klimatologii zavedeného intervalu od 07:00 dne, kterému jsou srážky připisovány do 07:00 dne následujícího. V praxi jsme zaznamenali jen výjimečné rozdíly mezi úhrny stanovenými naším způsobem a úhrny podle oficiální metody. Množství usazených srážek je připisováno dni, kdy bylo v dané epizodě dosaženo jejich maxima.

Z publikovaných příspěvků byly vybrány údaje o úhrnech usazených srážek. Jednalo se ve všech případech o úhrny usazených srážek za den s jejich výskytem. V případech, kdy to bylo možné, byly dopočítány hodnoty úhrnu usazených srážek připadající na jeden kalendářní den (den probíhajícího měření). Zde jsme předpokládali, že měření probíhalo po celou dobu

trvání projektu. V těchto případech se jednalo o údaje množství usazených srážek získané vážením odebraného vzorku rosy.

V příspěvku (Krhounek 1956) jsou publikovány výsledky měření množství usazených srážek pomocí Duvdevaniho metody z 8 stanic z území Čech a Moravy, a sice: Český Dub, Dobřenice, Havlíčkův Brod, Jílové, Kvasice, Milešovka, Slaný a Třeboň. Měření množství rosy bylo omezeno na měsíce květen až září a zpracováno bylo pětileté období 1950 až 1954. V příspěvku však chybí údaje o počtu dnů s výskytem rosy. Naopak jsou zde údaje o úhrnu padajících srážek a je zde vypočítán poměr usazených srážek ke srážkám padajícím.

#### 4. ZPRACOVÁNÍ A VÝSLEDKY

Výsledky měření a jejich zpracování jsou shrnuty v tab. 1 a 2, které obsahují následující údaje:

1. úhrn usazených srážek, US [mm],
2. úhrn padajících srážek, PS [mm],
3. počet dnů s výskytem US (DUS),
4. počet dnů uskutečněného měření (DM).

Pro vlastní zpracování byla použita pouze data, kdy probíhalo měření US a PS současně. Jsou tedy vyloučeny případy, kdy existují data pouze z měření množství PS a chybí měření US. V našem případě bylo měření PS bez výpadků, zatímco k přerušení měření množství US v několika případech došlo, jak je zřejmé z tab. 1.

Aby bylo možné porovnat výsledky z různě dlouhých časových řad, byly zvoleny následující charakteristiky:

1. množství PS připadajících na jeden kalendářní den (tzv. „ideální srážka“) [mm.den<sup>-1</sup>],
2. množství US připadajících na jeden kalendářní den (pro tuto charakteristiku neexistuje odborný název, ale podle předchozí charakteristiky bychom mohli hovořit o „ideální usazené srážce“) [mm.den<sup>-1</sup>],
3. množství US připadajících na 1 den s US [mm. (den s US)<sup>-1</sup>],
4. poměr US/PS [%].

Tab. 1 uvádí charakteristiky pro stanici Praha-Suchdol a tab. 2 stejné údaje pro Poledník a Smědavu.

##### 4.1 Příspěvek usazených srážek

Výsledky zpracování pro stanoviště Praha-Suchdol jsou uvedeny v tab. 1. Z ní je zřejmé, že na tomto stanovišti nastalo celkem 827 dnů společného měření US a PS. Z tohoto počtu bylo celkem 446 dnů s výskytem US. Za uvedené období bylo naměřeno celkem 60,8 mm US a 1 197,6 mm PS. Průměrný podíl US/PS byl 5,1 %. Měření množství PS se provádí s přesností 0,1 mm, z tohoto důvodu jsou hodnoty množství US v tabulce uvedeny rovněž na 0,1 mm, přestože měření množství US se provádí s přesností na 0,001 mm.

Z tab. 1 je rovněž vidět, že největší podíl US/PS byl v obdobích s nízkým výskytem padajících srážek. V tabulce je patrné několik takových výrazných případů jako únor 2012, kdy úhrn PS byl 7,2 mm a úhrn US 1,9. Podíl US/PS byl pro tento měsíc 26,4 %. Ještě výraznější podíl US/PS

Tab. 2 Vyhodnocení srážkových úhrnů na stanicích Poledník a Smědava (2013).

Table 2. Evaluation of precipitation amount at the Poledník and Smedava localities (2013) (US – deposited precipitation amount, PS – falling precipitation amount, DUS – number of days with deposited precipitation, DM – number of days with measurement).

Charakteristika	Poledník				Smědava			
	Měsíc				Měsíc			
	VIII.	IX.	X.	Total	VIII.	IX.	Total	
US [mm]	0,1	3,0	2,2	5,3	1,7	1,5	3,2	
PS [mm]	0,3	137,7	52,1	190,1	19,6	163,6	183,2	
DUS	1	11	7	19	6	5	11	
DM	2	30	15	47	15	16	31	
US/PS [%]	–	2,1	4,2	2,8	8,6	0,9	1,7	
US	[mm.den <sup>-1</sup> ]	0,057	0,099	0,145	0,112	0,112	0,094	0,103
	[mm. (den s US) <sup>-1</sup> ]	0,113	0,269	0,311	0,276	0,281	0,299	0,289
PS	[mm.den <sup>-1</sup> ]	0,150	4,590	3,473	4,045	1,307	10,225	5,910

Legenda:

US – úhrn usazených srážek

PS – úhrn padajících srážek

DUS – počet dnů s výskytem usazených srážek

DM – počet dnů měření

(74,3 %) byl hned následující měsíc, kdy úhrn PS byl pouhé 3,5 mm a úhrn US 2,6 mm. Rovněž v roce 2013 se vyskytly dva měsíce s výrazným podílem US/PS, a to listopad (47,6 %; US = 2 mm, PS = 4,2 mm) a prosinec, kdy bylo zaznamenáno dosavadní maximum podílu US/PS v průběhu existujícího měření, to 95,2 % a US = 4 mm, zatímco úhrn PS byl pouhé 4,2 mm.

Z uvedené tabulky vyplývá, že výrazný podíl US/PS se vyskytuje v měsících, kdy se na našem území, hlavně v lokalitách s nízkou nadmořskou výškou, mohou vyskytovat usazené srážky jak kapalné, tak pevné (v našem případě únor–březen a listopad–prosinec).

Stejně charakteristiky jako pro Prahu-Suchdol byly vyčísleny i pro stanoviště Poledník a Smědava. Výsledky, za výrazně kratší období měření, jsou shrnuty v tab. 2. Z této tabulky je zřejmé, že měření US probíhalo v roce 2013 celkem 47 dnů na Poledníku a 31 na Smědavě. Z důvodu velmi krátkého období měření US na těchto stanicích slouží uvedené hodnoty pouze pro ilustraci. Z tab. 2 je vidět, že úhrn US na Poledníku byl za 47 dnů 5,2 mm a na Smědavě za 31 dnů 3,2 mm. Průměrný úhrn US připadající na jeden den pak byl 0,112 mm pro Poledník a 0,103 pro Smědavu. Průměrný úhrn US připadající na den s výskytem US byl 0,276 mm / 0,289 mm (Poledník / Smědava). Ideální srážka činila 4,045 mm pro Poledník a 5,910 mm pro Smědavu.

Podíl US/PS nebyl pro stanice Poledník a Smědava vyhodnocován z důvodu krátkého období, po které probíhalo měření. Podle našeho názoru by neměl praktickou vypovídací hodnotu.

##### 4.2 Porovnání našich výsledků s publikovanými výsledky jiných autorů

Zde musíme hned na začátku upozornit na skutečnost, že publikované výsledky jiných autorů byly dosaženy při odlišném způsobu měření množství US. V případě příspěvku (Krhounek 1956), byly úhrny US získány tzv. Duvdevaniho metodou. V ostatních citovaných publikacích byly úhrny US získány manuálním měřením, tedy stažením usazených srážek stěrkou do sběrné nádoby a zvážením sebraného vzorku. Sběrná plocha, v tomto případě, měla velikost 1 m<sup>2</sup>.

Nejprve porovnáme naše výsledky s výsledky, které jsou uvedené v (Krhounek 1956), tedy s výsledky měření množství US na 8 stanicích z Čech a Moravy pomocí Duvdevaniho



metody z období let 1950 až 1954. Autor zde v tabulce uvádí úhrn US a PS a zároveň doplňuje tyto údaje o poměr US/PS. V tomto příspěvku není uveden údaj o počtu dnů s výskytem US (rosy). Z každého roku zpracovává pouze období květen až září, tedy období, kdy se nepředpokládá výskyt pevných usazených srážek. Rovněž nejsou uvedeny usazené srážky připadající na jeden den a ideální padající srážka, tedy úhrn padajících srážek připadajících na jeden den. Tyto hodnoty byly vypočteny podle podkladů v (Krhounek 1956). Aby byl vyloučen vliv pevných usazených srážek, samostatně bylo zpracováno stejné období roku (měsíce květen až září), výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Jak vyplývá z tab. 3 pohyboval se úhrn US v období květen až září od 0,036 mm.den<sup>-1</sup> (Milešovka) do 0,116 mm.den<sup>-1</sup> (Kvasice). Průměrný úhrn US pro sledované území Čech a Moravy byl 0,065 mm.den<sup>-1</sup>. Z tohoto pohledu lze konstatovat, že námi stanovená hodnota pro Prahu-Suchdol (0,076 mm.den<sup>-1</sup>) je mírně nadprůměrná, nikoliv extrémní. Rovněž poměr usazených srážek ke srážkám padajícím (3,8 %) je nadprůměrný. Naproti tomu úhrn PS připadajících na jeden den pro Prahu-Suchdol (2,005 mm.den<sup>-1</sup>) v období květen až září se blíží minimální hodnotě zjištěné pro Slaný (1,961 mm.den<sup>-1</sup>) a je podprůměrný, pokud je vztažen k průměru (2,223 mm.den<sup>-1</sup>) na sledovaném území.

Kromě porovnání s měřeními, které probíhalo na našem území, jsme se snažili porovnat naše výsledky s výsledky publikovanými v zahraniční literatuře. Jak jsme se již zmínili, hodnoty týkající se množství usazených srážek, zde byly získány jako doplňující údaj. Hlavním cílem těchto studií bylo získat analyzovatelný, tedy dostatečně velký, vzorek usazených srážek, provést jeho chemickou analýzu a zhodnotit stav a množství znečišťujících látek v těchto srážkách. V tab. 4 uvádíme přehled získaných údajů. Protože tyto příspěvky obsahovaly především údaje o epizodách výskytu US, množství odebraného vzorku, době trvání epizody, příp. době trvání experimentu, nejednalo se v žádném případě o rutinní měření, ale o měření v rámci výzkumných projektů, byli jsme nuceni některé údaje potřebné pro porovnání vypočítat podle podkladů z uvedených příspěvků. Námi vypočítané hodnoty jsou v tab. 4 vyznačeny.

Z tabulky je vidět, že průměrné úhrny US připadající na den s jejich výskytem vyšší než na stanici Prahu-Suchdol byly zaznamenány pouze na území Polska (0,190 mm. (den s US)<sup>-1</sup>) a Chorvatska (0,150, resp. 0,138 mm. (den s US)<sup>-1</sup>). Zde pomíneme údaje z Poledníku a Smědavy z důvodu vel-

Tab. 3 Porovnání výsledků měření množství usazených srážek a jejich podílu ke srážkám padajícím na území České republiky v období květen až září.

Table 3. Comparison of deposited precipitation measurements and their ratio to falling precipitation in the Czech Republic from May to September (\* – values were derived based on the assumptions given in publication).

Místo	US	PS	US/PS	Zdroj
	[mm.den <sup>-1</sup> ]	[mm.den <sup>-1</sup> ]	[%]	
Český Dub	0,071*	2,482*	2,9	Krhounek 1956
Dobřenice	0,038*	2,133*	1,8	Krhounek 1956
Havlíčkův Brod	0,111*	2,436*	4,5	Krhounek 1956
Jílové	0,043*	2,155*	2,0	Krhounek 1956
Kvasice	0,116*	2,139*	5,4	Krhounek 1956
Milešovka	0,036*	2,245*	1,6	Krhounek 1956
Slaný	0,053*	1,961*	2,7	Krhounek 1956
Třeboň	0,052*	2,230*	2,3	Krhounek 1956
Průměr pro celé území	0,065*	2,223*	2,9	Krhounek 1956
Praha-Suchdol	0,076	2,005	3,8	tento příspěvek

Legenda: \* – námi vypočítané hodnoty

Tab. 4 Porovnání našich výsledků s výsledky jiných autorů.

Table 4. Comparison of our results with other authors' results (\* – values were derived based on the assumptions given in publication, US – deposited precipitation, m. d. – missing data).

Místo	Průměrný úhrn US		Zdroj
	[mm. (den s US) <sup>-1</sup> ]	[mm.den <sup>-1</sup> ]	
Brive-la-Gaillarde (Francie)	0,115	0,086*	Beysens et al. 2006a
Ajaccio (Francie)	0,120	0,062*	Muselli et al. 2002
	≈0,106	m. d.	Muselli et al. 2006a
Komiza (Chorvatsko)	0,080	0,020*	Mileta et al. 2004
	0,108	0,020*	Muselli et al. 2009
Zadar (Chorvatsko)	0,150	0,041*	Mileta et al. 2004
	0,138	0,026*	Muselli et al. 2009
Centrální Holandsko	0,100	m. d.	Jacobs et al. 2008
Tahiti	0,068	0,068*	Clus et al. 2008
Jihozápadní Maroko	0,106	0,052*	Lekouch et al. 2010
Wrocław (Polsko)	0,103	0,049*	Sobik et al. 2010
Sudety (Polsko)	0,190	0,050*	Sobik et al. 2010
Praha (Česká Republika)	0,136	0,074	Tento příspěvek
Poledník (Česká Republika)	0,276	0,112	Tento příspěvek
Smědava (Česká Republika)	0,289	0,106	Tento příspěvek

Legenda:

\* – námi vypočítané hodnoty za předpokladů uvedených v článku

US – usazené srážky

m. d. – chybějící data

mi krátkého období měření. Pokud se zaměříme na úhrn US připadající na jeden den, pak vyšší hodnotu než v Praze-Suchdole zaznamenali pouze ve Francii (0,086 mm.den<sup>-1</sup>).

## 5. ZÁVĚR

Přestože pravidelné měření množství US probíhá na stanici Prahu-Suchdol relativně krátké období (přes tři roky) domníváme se, že výsledky jsou velmi zajímavé. Za předpokladu, že získané hodnoty úhrnu US za jeden den jsou platné i v období výskytu pevných US, mohou US za rok přispět ke srážkovému úhrnu cca 10 až 40 mm srážek. Uvedený předpoklad je reálný. Jak je zřejmé z porovnání tab. 1 a 3, průměrná hodnota úhrnu US připadající na jeden den, stanovená pro Prahu-Suchdol za celý rok (0,074 mm.den<sup>-1</sup>), se snížila o pouhé 0,002 mm.den<sup>-1</sup> oproti hodnotě stanovené za období květen až září (0,076 mm.den<sup>-1</sup>). Tento úhrn usazených srážek se může jevit jako zanedbatelný s ohledem na běžné roční úhrny padajících srážek. Na druhou stranu to může představovat jeden měsíční srážkový úhrn. Vezmeme-li v úvahu, že největší měsíční úhrn US se vyskytuje zpravidla v obdobích s nízkým úhrnem PS a že koncentrace znečišťujících látek obsažených právě v US jsou, jak je všeobecně známo, výrazně vyšší než ve srážkách padajících, nelze toto množství US zanedbat.

Porovnáním získaných výsledků s výsledky jiných autorů je vidět, že naše výsledky s publikovanými výsledky korespondují, a to dokonce i s výsledky uvedenými v (Krhounek 1956), tedy z období před více než padesáti lety. Vcelku odpovídá i poměr US/PS. Hodnotu tohoto poměru zřejmě ještě zvyšují pevné US, neboť zatímco poměr US/PS za období květen až září činí pro Prahu-Suchdol 3,8 % (viz tab. 3), za období celého roku je to 5,1 % (viz tab. 1).

#### Poděkování:

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu GAČR 205/09/1918. Zároveň děkujeme KVZ FAPPZ ČZU v Praze za umožnění provozovat přístroj na jejich experimentální stanici. Při zpracování příspěvku bylo rovněž využito poznatků získaných za podpory udělené TA ČR (TA02021451). Poděkování patří i lektorům za podnětné připomínky k příspěvku.

#### Literatura:

- BEYSENS, D., MILIMOUC, I., NIKOLAYEV, V., MUSELLI, M., MARCILLAT J., 2003. Using radiative cooling to condense atmospheric vapor: a study to improve water yield. *Journal of Hydrology*, Vol. **276**, s. 1–11. ISSN 022-1964.
- BEYSENS, D., OHAYON, C., MUSELLI, M., CLUS, O., 2006a. Chemical and biological characteristics of dew and rain water in an urban coastal area (Bordeaux, France). *Atmospheric Environment*, Vol. **40**, s. 3710–3723. ISSN 1352-2310.
- BEYSENS, D., MUSELLI, M., MILIMOUC, I., OHAYON, C., BERKOWICZ, S. M. et al., 2006b. Application of passive radiative cooling for dew condensation. *Energy*, Vol. **31**, s. 1967–1979.
- CHIWA, M., MIYAKE, T., KIMURA, N., SAKUGAWA, H., 2008. Organic Acids and Aldehydes in Throughfall and Dew in a Japanese Pine Forest. *Journal of Environmental Quality*, Vol. **37**, s. 2397–2402.
- CLUS, O., ORTEGA, P., MUSELLI, M., MILIMOUC, I., BEYSENS, D., 2008. Study of dew water collection in humid tropical islands. *Journal of Hydrology*, Vol. **361**, s. 159–171. ISSN 022-1964.
- CLUS, O., OUAZZANI, J., MUSELLI, M., NIKOLAYEV, V. S., SHARAN, G. et al., 2009. Comparison of various radiation-cooled dew condensers using computational fluid dynamics. *Desalination*, Vol. **249**, s. 707–712.
- CLUS, O., LEKOUCH, I., MUSELLI, M., MILIMOUC-MELNYTCHOUK, I., BEYSENS, D., 2013. Dew, fog and rain water collectors in a village of S-Morocco (Idouassksou). *Desalination and Water Treatment*, Vol. **51**, s. 4235–4238.
- DUVDEVANI, M. A., 1947. An optical Method of Dew Estimation. Dew Research Station, Pardess Hanna Agricultural School, Karkur, Palestine, Quarterly Journal of the RMS, Vol. **73**, Issue 317–318, s. 282–296.
- FIŠÁK, J., CHUM, J., VOJTA, J., BARTŮŇKOVÁ, K., 2013. Automatic Monitoring of the Amount of Deposited Precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. **14**, s. 670–676.
- FIŠÁK, J., CHUM, J., VOJTA, J., 2014. Interpretace měření hmotnosti usazených srážek pomocí automatického přístroje. *Meteorologické Zprávy*, roč. **67**, č. 5, s. 129–134. ISSN 0026-1173.
- FIŠÁK, J., MEKONEN, G. B., 2014. Porovnání měření množství usazených srážek pomocí automatického přístroje a Duvdevaniho rosměru. *Meteorologické Zprávy*, roč. **67**, č. 6, s. 174–178. ISSN 0026-1173.
- GALEK, G., SOBIK, M., POLKOVSKA, Z., BLAS, M., CICHALA-KAMROWSKA, K., 2012. Dew formation and chemistry near a motorway in Poland. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. **169**, s. 1053–1066.
- JACOBS, A. F. G., HEUSINKVELD, B. G., BERKOWICZ, S. M., 2008. Passive dew collection in grassland area, The Netherlands. *Atmospheric Research*, Vol. **87**, s. 377–385. ISSN 0169-8095.
- KRHOUNEK, S., 1956. Význam rosy a její měření. *Meteorologické Zprávy*, roč. **9**, č. 2, s. 56–61.
- LEKOUCH, I., MUSELLI, M., KABBACHI, B., OUAZZANI, J., MELNYTCHOUK-MILIMOUC, I. et al., 2011. Dew, fog, and rain as supplementary sources of water in south-western Morocco. *Energy*, Vol. **36**, s. 2257–2265.
- MILETA, M., MUSELLI, M., BEYSENS, D., MILIMOUC, I., BERKOWICZ, S. et al., 2004. Comparison of dew yields in four Mediterranean sites: similarities and differences. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference of Fog, Fog Collection and Dew, Cape Town, South Africa. 11–15 October 2004, E2.
- MUSELLI, M., BEYSENS, D., MARCILLAT, J., MILIMOUC, I., NILSSON, T. et al., 2002. Dew water collector for potable water in Ajaccio (Corsica Island, France). *Atmospheric Research*, Vol. **64**, s. 297–312. ISSN 0169-8095.
- MUSELLI, M., BEYSENS, D., MILIMOUC, I., 2006a. A comparative study of two large radiative dew water condensers. *Journal of Arid Environments*, Vol. **64**, s. 54–76. ISSN 0140-1963.
- MUSELLI, M., BEYSENS, D., SOYEUX, E., 2006b. Is dew water potable? Chemical and biological analyses of dew water in Ajaccio (Corsica Island, France). *Journal of Environmental Quality*, Vol. **35**, s. 1812–1817.
- MUSELLI, M., BEYSENS, D., MILETA, M., MILIMOUC, I., 2009. Dew and rain water collection in the Dalmatian Coast, Croatia. *Atmospheric Research*, Vol. **92**, s. 455–463. ISSN 0169-8095.
- NILSSON, T., 1996. Initial experiments on dew collection in Sweden and Tanzania. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **40**, s. 23–32.
- SHARAN, G., CLUS, O., SINGH, S., MUSELLI, S., BEYSENS, D., 2011. A very large dew and rain ridge collector in the Kutch area (Gujarat, India). *Journal of Hydrology*, **405**, 171–181. ISSN 022-1694.
- SINGH, S. P., KHARE, P., KURNARL, K. M., SRIVASTAVA, S. S., 2005. Chemical characterization of dew at a regional representative site of North-Central India. *Atmospheric Research*, Vol. **80**, s. 239–249.
- SOBIK, M., BLAS, M., POLKOWSKA, Z., 2010. Climatology of dew in Poland. In: 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew. Münster: University of Münster, 25–30 July 2010, s. 78.

Lektoři (Reviewers) RNDr. Luboš Němec, Ing. Pavel Lipina

## POSELSTVÍ GENERÁLNÍHO TAJEMNÍKA SMO MICHELA JARRAUDA U PŘÍLEŽITOSTI SVĚTOVÉHO METEOROLOGICKÉHO DNE 2015 – KLIMATICKÉ ZNALOSTI PRO KLIMATICKOU AKCI

Základním posláním Světové meteorologické organizace, jako nástupce Mezinárodní meteorologické organizace založené v roce 1873, je podporovat země celého světa při zajišťování meteorologických a hydrologických služeb k ochraně života a majetku před přírodními katastrofami souvisejících s počasím a klimatem, k ochraně životního prostředí a jako příspěvek k udržitelnému rozvoji. To nelze realizovat bez nutných pozorování, výzkumu a provozů, které dále rozvíjejí chápání a poznání počasí a klimatu.

Od roku 1961 si Světovým meteorologickým dnem připomínáme datum 23. března 1950, kdy vstoupila v platnost Úmluva zakládající SMO, i zásadní příspěvek národních meteorologických a hydrologických služeb k bezpečnosti a prosperitě společnosti. Každý rok se oslavy zaměřují na téma aktuálního zájmu. Téma pro letošek, Klimatické znalosti pro klimatickou akci, nemohlo být aktuálnější, neboť mezinárodní společenství spěje k ambiciózním rozhodnutím a opatřením zaměřeným na řešení klimatické změny.

Klimatická změna se týká nás všech. Ovlivňuje téměř všechny společensko-hospodářské oblasti, od zemědělství po cestovní ruch, od infrastruktury po zdravotnictví. Dopadá na strategické zdroje jako voda, potraviny a energie. Způsobuje zpomalování a dokonce ohrožuje udržitelný rozvoj a samozřejmě nejenom v rozvojových zemích. Náklady na nečinnost jsou velké a ještě se zvýší, nebudeme-li jednat okamžitě a rozhodně.

Informace o počasí a klimatu a jeho variabilitě a změně jsou natolik vrostlé do našeho každodenního života, počínaje každodenní předpovědí počasí a konče sezónními predikcemi klimatu, že se občas snadno zapomene na ohromné množství pozorování, výzkumu, výpočtů a analýz, které stojí za informačními produkty reprezentujícími počasí a klima. V současné době je průměrná předpověď počasí na pět dní stejně dovedně vypracovaná jako dvoudenní předpověď před 25 lety a sezonní klimatické předpovědi se stávají stále propracovanějšími. Je to umožněno pokrokem v oblasti dálkového měření včetně družicového, významným zlepšením ve vědě i dramatickým posilováním počítačového výkonu. Vědecký pokrok v meteorologii a klimatologii za posledních 50 let je vskutku jedním z nejvýznamnějších ze všech vědeckých oborů.

Klimatické znalosti nashromážděné za uplynulá desetiletí představují neocenitelný zdroj i předpoklad pro rozhodování a pro klimatická opatření. Celá řada důkazů, od rostoucích teplot po odtávající ledovce, od stoupající mořské hladiny po povětrnostní extrémny, nás utvrzují v tom, že klima se mění a že jde především o vliv lidské činnosti, zejména emisí skleníkových plynů, které každým rokem překonávají rekord roku předešlého.

Věda nám také dává velkou důvěru v naše schopnosti stále ještě tento kurs změnit a zmírnit klimatickou změnu na zvladatelnou úroveň. Důkazy o klimatické změně dnes zpochybňuje málokdo, totéž platí o naší odpovědnosti k budoucím generacím. Tento proces mohou a musí podpořit klimatic-

ké znalosti, které rozhodujícím činitelům na všech úrovních pomohou přijímat nejlepší rozhodnutí.

Klimatické znalosti musí být podávány v podobě, kterou ti, co je potřebují, snadno pochopí a využijí. Klimatické produkty a služby mohou pomoci urbanistům při vypracování zásad a akčních plánů tak, aby posílily odolnost měst vůči přírodním katastrofám a podporovaly ekologičtější ekonomiku. Orgány hygienické služby využívají klimatických předpovědí k aktivnímu řešení případných zdravotních důsledků extrémů jako sucho, vlny veder a povodně. Díky trendovým predikcím teplot a srážek jsou zemědělci schopni lépe rozhodovat o setí, sklizni i prodeji.

Správci vodních zdrojů využívají klimatické informace k optimalizaci zásobování vodou a povodňových opatření. Energetika využívá klimatické informace k rozhodování o tom, kde a jaký typ elektrárny v konkrétní lokalitě vybudovat.

Globální rámec pro klimatickou změnu je iniciativa systému OSN, vede ji SMO a byla zřízena přesně za tímto účelem: umožnit poskytování klimatických služeb tak, aby bylo možno rozhodovat na základě co nejlepších informací. Jde o zásadní výzvu pro rozvinuté i rozvíjející se země, ve vzájemném učení spočívá velký potenciální užitek. Zkušenost a pokrok ve vývoji a aplikaci klimatických služeb je možno sdílet jako příklady dobré praxe, mohou také jiným zemím pomoci urychlit postup na cestě ke klimatické adaptaci.

Závěrem vyzývám členy SMO, všechny vlády a občanskou společnost ke sdílení a uplatňování klimatických znalostí s cílem přijímat silná klimatická opatření, minimalizovat klimatická rizika a podporovat udržitelný rozvoj.

## DEN OTEVŘENÝCH DVEŘÍ 2015 V ČESKÉM HYDROMETEOROLOGICKÉM ÚSTAVU

Jak se stalo v posledních letech tradicí, uspořádal Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) na všech svých profesionálních pracovištích kromě letišť Den otevřených dveří (DOD). Akce se konala v sobotu 21. 3. 2015 den po Světovém dni vody a den před Světovým meteorologickým dnem. Světový den vody byl letos organizovaný pod heslem „*Voda a udržitelný rozvoj*“, Světový meteorologický den pod heslem „*Klimatické znalosti pro klimatickou akci*“.

Krásné počasí a dobrá propagace v televizi, tisku i na internetu přilákaly velký počet návštěvníků, jejichž spektrum bylo jako obvykle velmi pestré. Velký zájem o návštěvu ČHMÚ byl zejména v Praze, na observatoři na Libuši 400 a v Komořanech 500 lidí. Na pobočkách ústavu pak v Českých Budějovicích 250, v Plzni 120, Ústí nad Labem 140, Hradci Králové 175, Brně 400 a Ostravě 272 návštěvníků; na profesionální meteorologické stanice jich přišlo dalších 923 a na observatoře 280. Největší návštěvnost ze stanic měla MS na Lysé hoře, kam vylákalo pěkné počasí 281 lidí. Den otevřených dveří 2015 na pracovištích ČHMÚ tedy využilo 3 200 osob. Na zajištění DOD se aktivně podílelo několik desítek pracovníků ústavu.

Návštěvníci se během dne otevřených dveří seznámili s kompletní činností ústavu, jeho jednotlivými obory – meteorologií a klimatologií, hydrologií povrchových i podzemních vod a ochranou čistoty ovzduší.

Zájemci si mohli prohlédnout Centrální předpovědní pracoviště v Praze-Komořanech, kde se tvoří předpověď počasí,





Praha-Komořany, Bioakumulační monitoring povrchových vod. Foto H. Stehlíková.

monitoruje se aktuální vývoj počasí a také zde sídlí výstražná služba. Návštěvníci si prohlédli přístroje používané při měření průtoku vody, stanice podzemních vod nebo klimatologické stanice, bylo možné se seznámit se způsobem měření vodní hodnoty sněhu. Byla jim předvedena ukázka hydrologického vrtu nebo si mohli prohlédnout manuální i automatickou meteorologickou stanici. Také se zde mohli dozvědět, proč je čisté ovzduší důležité, jak dochází k jeho znečištění a jak se znečištění ovzduší měří a posuzuje. V Praze-Libuši byl otevřen areál observatoře a na programu bylo i vypuštění meteorologického balonu s radiosondou.

Také na dalších odborných pracovištích ČHMÚ, na pobočkách v Českých Budějovicích, Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a v Ostravě, bylo možné vidět ukázky měření. Pracovníci ústavu rovněž seznámili návštěvníky se stanicemi sítěmi hydrologických a klimatologických stanic nebo předvedli praktické ukázky moderních i historických přístrojů a zařízení na meteorologických měřicích pozemcích (zahradkách).

Den otevřených dveří v Českém hydrometeorologickém ústavu potvrdil trvalý zájem veřejnosti o akce podobného typu a bezesporu přispěl také k propagaci ČHMÚ. Dokazovala to nejen spokojenost návštěvníků, ale i značný publikační ohlas ve sdělovacích prostředcích.

Hana Stehlíková

### EMS/ECAC 2014 V PRAZE

Ve dnech 6.–10. října 2014 se v konferenčním centru hotelu Clarion Congress v Praze-Vysočanech uskutečnilo 14. výroční setkání Evropské meteorologické společnosti (EMS) a 10. Evropská konference aplikované klimatologie (ECAC). Akce byla pořádána EMS ve spolupráci s agenturou Copernicus, které jako domácí partner sekundovala kongresová agentura C-In. Spolupořádajícími partnery, a tedy hostiteli akce, byly rovněž Česká meteorologická společnost (ČMeS), Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) a Univerzita Karlova v Praze. Hlavní téma akce bylo „Creating climate services through partnerships“, tedy „Tvorba klimatických služeb prostřednictvím partnerství“. Tato setkání slouží každoročně jako fórum pro podporu a propagaci vzájemné spolupráce a výměny zkušeností. Účastní se jich zástupci národních meteorologických a hydrologických služeb, privátních poskytovatelů služeb v daných oborech, zástupci akademické sféry i vzdělávacích institucí, mezinárodních organizací i mediální sféry.



Praha-Komořany, Ukázka automatické meteorologické stanice. Foto H. Stehlíková.

Jak došlo k tomu, že jsme měli možnost uspořádat v České republice tuto akci? Třebaže za hlavního hostitele byla od počátku neformálně považována ČMeS, ve skutečnosti naše Společnost formálně o uspořádání této akce, jak jinak bývá běžné, sama nepožádala. Žádost byla podána agenturou, která pořádá podobné akce v rámci své hlavní činnosti, tedy Czech-In, s. r. o., dnes již vzhledem k působnosti i v zahraničí přejmenovanou na C-In. V létě r. 2010 byla totiž oslovena ČMeS zástupcem této agentury s nabídkou uspořádat EMS/ECAM 2013 v Praze. Protože ČMeS samozřejmě nemá infrastrukturu, aby mohla podobnou akci organizovat, byla nabídka od firmy C-In víceméně tzv. na klíč. V tom se ukazoval vážný problém, neboť pro EMS tyto akce pořádala od počátku firma Copernicus, kterou řada členů zná z pořádání tradičních Valných shromáždění EGU a jejich konferencí. Nicméně ze strany ČMeS hned při jednání Rady EMS u příležitosti EMS/ECAC v září 2010 položen dotaz na to, jak by se líbila jako dějiště některého z příštích výročních setkání Praha a zda je schůdné, aby akci, byť třeba jen výjimečně, kompletně zabezpečoval někdo jiný než agentura Copernicus. Praha se ihned stala jasným favoritem na první volný termín, tedy r. 2014 (r. 2013 již byl předjednaný pro EMS/ECAM v Readingu), i když vlastně ani ještě nebyla podána formální přihláška. Při jednání o firmě, která by akci zabezpečovala, tam již tak velké nadšení nebylo, ale nakonec to bylo vyřešeno smlouvou mezi oběma organizacemi o vymezení spolupráce při organizaci tak, aby z hlediska EMS akce proběhla v rámci běžných standardů systému agentury Copernicus, s vlastní přípravou na místě zabezpečenou prostřednictvím domácí agentury C-In. Tato spolupráce nakonec, alespoň pokud lze posoudit z ohlasů, probíhala ke spokojenosti všech stran. Formální přihláška pro EMS/ECAC 2014 byla podána v květnu 2011 a schválena na Radě EMS u příležitosti EMS/ECAM v září 2011 v Berlíně.

Uvítali jsme, že nakonec termín určil pro Prahu s ohledem na pravidelné střídání ECAM a ECAC spojení výročního setkání EMS s ECAC. Byl v tom trochu záměr přispět k jistému zviditelnění záležitostí kolem klimatické změny a studia klimatu, včetně aplikací vedoucích i k adaptačním či mitigačním opatřením. K tomu potom směřovalo hlavní téma akce i vlastní název ECAC konference „Developing Climate Services in Partnerships“, která v rámci iniciativy Světové meteorologické organizace (WMO) Global Framework of Climate Services (GFCS) cílila na rozvoj dialogu a partnerství mezi odborníky a uživateli k podpoře adaptace společnosti na klimatickou změnu, především pak její možné

extrémní projevy. Společnost i její nejrůznější sféry činností je potřeba adaptovat na současné změny ve vývoji klimatu a s tím spojené projevy počasí, zároveň se také musí připravit strategie pro očekávané budoucí podmínky. Proto je životně důležité v daných oborech rozvíjet nové služby a zdokonalovat již existující, jak ve své iniciativě GFCS deklaruje WMO. V jednotlivých tématech konference byly jednotlivé aspekty této iniciativy náležitě akcentovány, zvláště s ohledem na spolupráci, dialog a partnerství mezi vědci, vývojáři, poskytovateli a koncovými uživateli či adresáty jednotlivých služeb, s primárním cílem podpory společnosti a jejich aktivit ve střetu s kritickými důsledky klimatických extrémů. Vedle konference ECAC byly na programu obvyklé okruhy sekcí „Communication and Education“, „Numerical Weather Prediction“ a „The Atmospheric System and its Interactions“. Navíc byl zařazen speciální workshop projektu CORECLIMAX „Climate Services: Products and tools to make choices“ k používání dostupných dat a služeb pro studium klimatické změny a jejích důsledků. Kromě toho byl opět zařazen workshop pro vylepšení dovedností ve styku s médii „Tips for effectively dealing with the media“. Před samotným výročním setkáním se v místě akce uskutečnilo tradičně zasedání Rady EMS a Valné shromáždění zástupců členských společností EMS.

Samotné zahájení proběhlo 6. 10. 2014 dopoledne bez původně přislíbené účasti ministra životního prostředí, který byl nakonec zastoupen vedoucím svých poradců P. J. Kalašem, s uvítacími příspěvky řady zástupců zúčastněných organizací, mj. předsedy EMS D. Marbouty, ředitele ČHMÚ V. Dvořáka, předsedy ČMeS T. Halenky a děkana MFF UK J. Kratochvíla. V rámci úvodních strategických přednášek vystoupil např. zástupce generálního tajemníka WMO Jeremiah Lengoasa, vice-prezident IPCC Jean-Pascal van Ypersele nebo ředitelka Centra pro klimatické služby německé vlády Daniela Jacob. Podrobnější informace o programu, nejen zahajovacího bloku, viz <http://www.ems2014.eu/programme/>. V úterý odpoledne zazněla přednáška laureáta Stříbrné medaile EMS, kterou byl v loňském roce oceněn Peter Lynch. Plenární sympozium k tématu klimatických služeb bylo na programu ve středu 8. 10., úvodním řečníkem byl Hans von Storch a účastníkem jednoho z panelů byl i Radim Tolasz z ČHMÚ. Jak ze zahajovacího dopoledne, tak přednášky laureáta Stříbrné medaile i z plenárního sympozia je k dispozici videozáznam včetně projekce.

Mezi účastníky akce byla řada předních odborníků, což bylo využito i v rámci doprovodné akce pořádané ČMeS a MFF UK, panelové diskuse ke klimatické změně na téma Klimatická změna – realita bez mýtů, ve které byla dána možnost i širší domácí odborné veřejnosti vyslechnout si názory zahraničních odborníků. Úvodní komentáře na dané téma přednesli a v dalším čase odpovídali v rámci živé diskuse jak dalších přítomných účastníků konference, tak i členů naší Společnosti či dalších hostů Hans von Storch, Daniela Jacob a Rasmus Benestad.

S jistým odstupem se nyní můžeme pokusit o jisté zhodnocení. Podle ohlasů již v průběhu týdne konference se dá říci, že to byla akce docela úspěšná, a to jak pokud jde o účast, tak i vlastním prostředím a průběhem. Proti původně očekávanému počtu ca 500–550 návštěvníků se zúčastnilo 613 řádně registrovaných účastníků, a to ze 45 zemí, nejen evropských. Vedle 64 přítomných zástupců z ČR bylo vůbec nejvíce registrovaných z Německa (111), z mimoevropských států jistě stojí za zmínku 20 Korejců, 13 Američanů, 9 Japonců, nakonec

i po jednom z Austrálie, Singapuru, Tchajwanu, Číny, Mexika či Indie. Úplná statistika viz <http://www.ems2014.eu/home.html>. Ohlasy účastníků na samotné uspořádání akce byly velmi pozitivní, v kongresových prostorách hotelu Clarion jsou na velmi dobré úrovni jak přednáškové místnosti, tak i potřebné zázemí. Navíc konfigurace prostor velmi dobře odpovídala počtu účastníků, jednotlivé místnosti byly v těsném sousedství, ale oddělené dostatečně velkým prostorem pro přestávkové přesuny i občerstvení. To bylo rovněž hodnoceno jako vynikající, stejně tak i pohoštění při tradičním „lámání ledů“ s vybranými značkami malých českých pivovarů či konferenční večeře. Projevy uznání za uspořádání akce a doprovodných aktivit vyjádřila Rada EMS na adresu ČMeS i ČHMÚ jako spolupřátelům institucím děkovným dopisem předsedy EMS.

Osobně tak mám z naší prezentace odborné veřejnosti EMS i jiným návštěvníkům akce dobrý pocit a řekl bych, že jsme se úkolu ve vzájemné spolupráci zhostili úspěšně. Jednoho problému jsem si ale vědom: vyjma České televize, která akci věnovala pozornost v rámci odpoledního vysílání ČT24 krátkým rozhovorem, ke kterému jsem byl pozván, a následně, s ohledem na udělení ocenění EMS Outreach & Communication Award 2014 pořadu ČT Turbulence, rozhovorem s T. Míkovou a M. Žákem v ranním Studiu 6, akci, přes snahu naši i ostatních organizátorů, naprosto ignorovaly sdělovací prostředky. S ohledem na to, že se jednalo o týden před komunálními volbami, mě to ale příliš nepřekvapuje.

Snad jsme dobře využili příležitost k posílení postavení a propagaci naší České meteorologické společnosti, Českého hydrometeorologického ústavu i české meteorologie v Evropě.

*Tomáš Halenka*

## **OPUSTILA NÁS JARMILA REINHARTOVÁ**

Po dlouhé a těžké nemoci zemřela 6. 3. 2015 dlouholetá pracovnice Hydrometeorologického ústavu, naše bývalá kolegyně, paní Jarmila Reinhartová. Narodila se 25. 5. 1933 v Praze. Matematicko-fyzikální fakultu UK absolvovala v roce 1956 a v roce 1972 získala hodnost kandidáta věd. V odboru klimatologie v Holečkově ulici vedla srážkoměrnou skupinu a po reorganizaci ústavu v roce 1980 pracovala jako klimatolog v odboru režimových informací. Nikdy neměla ambice dosáhnout na vedoucí místa, ale její pracovní nasazení bylo vždy příkladné. Převážně se věnovala zpracování srážek, ale nevyhýbala se ani jiným meteorologickým prvkům. Jenom v časopisu Meteorologické zprávy vydávaném ústavem, můžeme najít víc než deset jejích odborných článků. Přispívala i do dalších ústavních edic a publikací jako jsou Sborník prací, Práce a studie, Podnebí a vodní režim ČSSR, Zpracování klimatologických informací. Stručná klimatografie světa pro leteckou a jinou dopravu, kterou napsala společně s Dr. Trefnou v roce 1959, byla v době neexistence internetu výborným pracovním nástrojem.

Jarmilu měli všichni v jejím okolí rádi. Byla vždy upřímná, ale přitom i laskavá. Dodnes vzpomínám, jak hezky mě uměla upozornit na moje nedostatečné pracovní nasazení v době zácvičku. Byla milující matka a manželka a svému manželu Mirkovi byla, dokud jí to zdraví umožnilo, velkou oporou. Budeme na ni vzpomínat jen v dobrém. Čest její památce.

*Luboš Němec*



## VEŘEJNÁ SPECIALIZOVANÁ KNIHOVNA ČHMÚ

Zahraniční časopisy odebírané specializovanou knihovnou ČHMÚ – výběr:

Atmospheric Environment – *USA*, on line verze

Australian Meteorological Magazine – *Austrálie*

Climatic Change – *Holandsko*

Ekologija – *Litva*

ICAO Journal – *Kanada*

Időjárás – *Maďarsko*

International Journal of Climatology – *Velká Británie*

Izvěstija AN – Serija geografičeskaja – *Rusko*

Izvěstija Russkogo geografičeskogo občestva – *Rusko*

Journal of Hydrology – *Holandsko*, on line verze

Journal of Hydrology and Hydromechanics – *Slovensko*

Journal of the Meteorological Society of Japan – *Japonsko*

Meteorologický časopis (Meteorological Journal) – *Slovensko*

Meteorologija i gidrologija – *Rusko*

Meteorologische Zeitschrift – *Německo*

La Météorologie – *Francie*

Monthly Weather Review – *USA*, on line verze

Przegląd geograficzny – *Polsko*

Promet – *Německo*

Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society – *Velká Británie*

Tellus, Serie A, B – *Dánsko*, on line verze

Vodohospodársky spravodajca – *Slovensko*

Weather – *Velká Británie*

Weather and Forecasting – *USA*, on line verze

Wiadomości Instytutu meteorologii, hydrologii i gospodarki wodnej – *Polsko*

WMO Bulletin – *Švýcarsko*

<http://biblio.chmi.cz/>





## NABÍDKA PUBLIKACE ČHMÚ

Jan Daňhelka – Petr Janál – Petr Šercl

# MOŽNOSTI PREDIKCE PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

Edice Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu

Praha: ČHMÚ 2015, 50 stran, Cena 135 Kč  
ISBN 978-80-87577-27-1, ISSN 0232-0401

Příspěvky v tomto sborníku se zabývají možností predikce jednoho z nejrizikovějších přírodních jevů, kterým je přívalová povodeň, často nesprávně nazývaná jako blesková povodeň. Přívalová povodeň vzniká následkem vypadnutí lokálních velmi intenzivních srážek jako doprovodného jevu silných bouřek. Při jejich výskytu dochází ke vzniku a koncentraci povrchového odtoku během velmi krátké doby, a to i v území, kde po většinu roku povrchový odtok není patrný, např. v suchých údolích či v místech pod svažitém terénem.

Z výsledků meteorologických modelů nelze vzhledem k jejich prostorovému rozlišení a dynamice vývoje bouřek přesně určit lokalitu, kde se přívalové srážky mohou vyskytnout a kde mohou způsobit přívalovou povodeň. Predikce tohoto jevu se tak musí opírat o sledování postupu již vytvořených bouřek pomocí meteorologického radaru, který dokáže oblasti s vypadáváním potenciálně rizikových srážek detekovat. Stanovení rizika výskytu přívalové povodně je tak časově velmi omezené a pohybuje se řádově maximálně v desítkách minut.

**Publikaci lze objednat na adrese:**  
**Český hydrometeorologický ústav, SIS,**  
**Iva Sieglerová, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany**  
**Tel.: 244 032 721, e-mail: iva.sieglerova@chmi.cz**

**Na objednávce uvádějte svoje IČ.**