



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV  
CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

# METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Radim Tolasz: Počasí v České republice v roce 2014</i>                                                                                                | 1  |
| <i>Hana Bendáková – Iva Hůnová: Přízemní ozon jako jeden z faktorů oxidačního stresu v horských lesích</i>                                               | 8  |
| <i>Petr Skalák – Michal Žák – Pavel Zahradníček – Karel Helman: Příspěvek projektu UHI k poznání klimatu Prahy</i>                                       | 18 |
| <i>Ondřej Vlček – Roman Juras – Josef Keder: Návrh nových pravidel vyhlašování smogových situací a regulací pro suspendované částice PM<sub>10</sub></i> | 24 |

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Radim Tolasz: Weather in the Czech Republic in 2014</i> . . . . .                                                                                                                     | 1  |
| <i>Hana Bendáková – Iva Hůnová: Surface as one of several oxidative stress factors in mountain forests</i> . . . . .                                                                     | 8  |
| <i>Petr Skalák – Michal Žák – Pavel Zahradníček – Karel Helman: The UHI project's contribution towards a better understanding of the Prague climate</i> . . . . .                        | 18 |
| <i>Ondřej Vlček – Roman Juras – Josef Keder: A proposal for new rules for the timely announcement of smog alerts and the regulation of suspended particles PM<sub>10</sub></i> . . . . . | 24 |

## Abstracting and Indexing:

- Meteorological and Geoastrophysical Abstracts

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

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

### Vedoucí redaktor – Chief Editor

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

### Redaktoři – Assistant Editors

O. Šuvarinová, 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. Pastirčák, 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 28. ÚNORA 2015

ČÍSLO 1

## POČASÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2014

Radim Tolasz, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, K Myslivně 3/2182, 708 00 Ostrava, tolasz@chmi.cz

**Weather in the Czech Republic in 2014.** The article presents a description of the weather and major events for each month of 2014. The average annual temperature for the CR of 9.4 °C with a deviation of 1.9 °C above the long-term average is classified as the warmest year since 1961. Annual precipitation is near the long-term average. For comparison, the temperature averages for the period 1961–2014 are accompanied by a graph of annual temperatures since 1771. Maximum and minimum temperatures, significant precipitation events, and potentially achieved higher wind speeds are provided for each individual month. If rivers in the Czech Republic reached flood stage or a smog situation was declared, the report also indicates that.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** počasí – charakteristiky – Česká republika – 2014

**KEY WORDS:** weather – characteristics – Czech Republic – 2014

### 1. ÚVOD

Rok 2014 byl s průměrnou teplotou 9,4 °C teplotně mimořádně nadnormální (téměř 2,0 °C nad dlouhodobým průměrem 1961–1990). V České republice se rok 2014 stal nejteplejším od roku 1961, od kdy jsou průměry pro ČR k dispozici (obr. 1a). Byl o 0,3 °C teplejší než zatím nejteplejší roky 2000 a 2007. Rozložení odchylky průměrné roční teploty od normálu 1961–1990 (obr. 1b) ukazuje, že na celém území Česka byla odchylka kladná, větší na Moravě a menší v Čechách. Teplotní odchylka v jednotlivých měsících kolísala od +3,7 °C v březnu (teplotně silně nadnormální měsíc) až po –0,5 °C v srpnu (měsíc teplotně normální). Teplotně silně nadnormální březen 2014 s průměrnou teplotou 6,1 °C a březen v roce 1990 se stejnou průměrnou teplotou jsou nejteplejšími březny od roku 1961. Syntetická řada ročních hodnot teploty (obr. 2) zpracovávaná podle práce Štěpánka (2005) ukazuje, že rok 2014 byl dokonce výrazně teplejší než předchozí teplé roky. Na obr. 3 vidíme, že jen dva měsíce (květen a srpen) byly chladnější, než by odpovídalo dlouhodobému průměru. Průměrný roční srážkový úhrn 672 mm dovoluje označit rok jako srážkově normální (1 % pod dlouhodobým průměrem). Nejvíce srážek napadlo v České republice v květnu (v průměru 114 mm, což bylo 155 % dlouhodobého průměru) a nejméně v únoru (v průměru jen 10 mm, to je 26 % dlouhodobého průměru). Na obr. 4 vidíme, že měsíce květen, červenec a září byly nadnormální, průměrný úhrn srážek v srpnu a říjnu byl vyšší než dlouhodobý průměr, ale zůstal v intervalu pro normální srážky. Měsíc listopad byl podnormální, únor a červen byly silně podnormální. Celkově napršelo v pěti měsících více a v sedmi měsících méně, než by odpovídalo dlouhodobému průměru. Analýza 148 stanic s řadou delší než 30 let ukazuje, že rok 2014 byl na 134 stanicích nejteplejším rokem v historii měření. Přesto byla na stanici Žatec v roce 2014 průměrná roční teplota 10,0 °C o 0,7 °C nižší než v nejteplejším roce 2000, v Karvině teplota 10,6 °C rovněž o 0,7 °C nižší než v roce 1934, v Opavě

teplota 9,6 °C o 0,6 °C nižší než v roce 1934 a v Javorníku teplota 9,8 °C o 0,6 °C nižší než v roce 2000.

### 2. POČASÍ V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH

#### Leden

Rok byl zahájen nepříznivými meteorologickými rozptýlovými podmínkami, které vedly k vyhlášení smogové situace v legislativě (zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb.) stanovené aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka ve dnech 1.–2. ledna a 28.–29. ledna. Hned 3. leden byl zájímavý na Lysé hoře v Beskydech, kde byla naměřena 21 cm silná vrstva námrazy. Rok však začal podobně, jako ten předchozí skončil. Maximální denní teplota se pohybovala kolem +10 °C a 5. ledna bylo ve Strážnici (okres Hodonín) naměřeno +13,0 °C nebo v Lučině, okres Frýdek-Místek, +12,6 °C. Přestože se v těchto dnech často připomínalo překonávání denních teplotních rekordů, tak absolutní lednové maximum 18,8 °C z 29. ledna 2002 naměřené v Ústí nad Labem, Mánesových sadech zůstalo nedotčeno. Nejvyšší teplota ledna 2014 +16,2 °C byla naměřena v Ropici u Třince, okres Frýdek-Místek, 19. ledna a nejnižší –24,8 °C v Kořenově na Jizerce 26. ledna. Na dvou stanicích v okrese Bruntál byl 26. ledna zaznamenán tzv. arktický den (maximální teplota byla nižší než –10 °C) – Slezská Harta měla maximální denní teplotu –10,1 °C a tradičně chladné Město Albrechtice, Žáry na Krnovsku –10,2 °C.

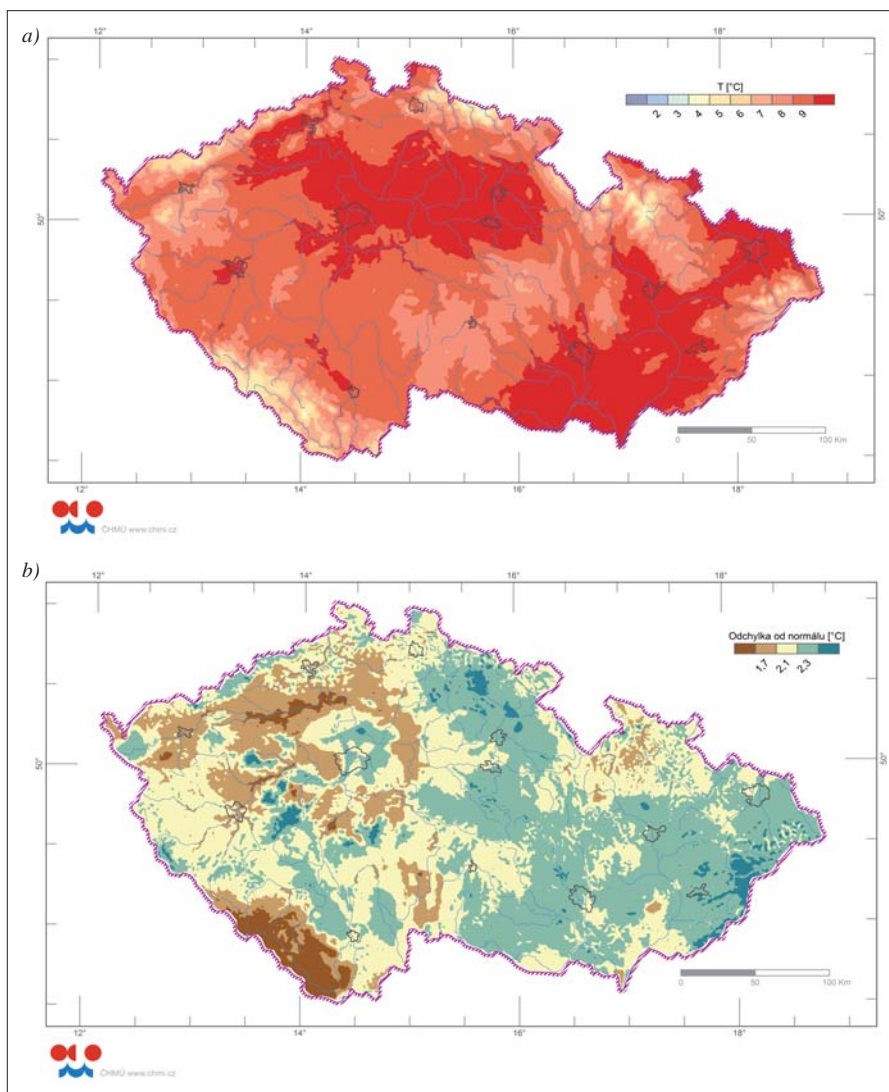
#### Únor

Silný vítr byl 1. února zaznamenán v horských oblastech Jeseníků a Beskyd – Šerák 38,3 m.s<sup>–1</sup> (138 km.h<sup>–1</sup>), Slaměnka 37,1 m.s<sup>–1</sup> (134 km.h<sup>–1</sup>) a Lysá hora 35,7 m.s<sup>–1</sup> (129 km.h<sup>–1</sup>). 3. února byla na Milešovicích naměřena 27 cm silná vrstva námrazků (kombinace námrazy, ledovky, jinovatky). Nejvyšší únorová teplota +16,7 °C byla naměřena ve Volarech, okres Prachovice, 15. února a nejnižší –16,5 °C na šumavském Břežníku 12. února.

## Březen

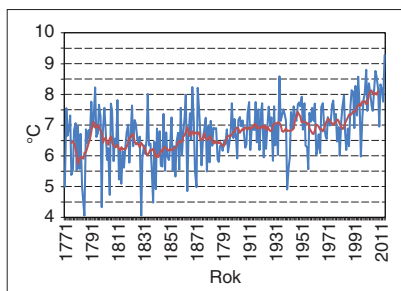
Nepříznivé rozptýlové podmínky se ve dnech 12.–14. března vyskytly opět v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Trinecka. Zlepšení rozptýlových podmínek přišlo s postupně silícím větrem, který na mnoha místech v průběhu 16. března překračoval v nárazech na řadě stanic hranici  $30 \text{ m.s}^{-1}$ . Nejsilnější nárazy byly samozřejmě zaznamenány na horách: Sněžka  $42,1 \text{ m.s}^{-1}$  ( $152 \text{ km.h}^{-1}$ ), Fichtelberg na německo-české hranici  $35 \text{ m.s}^{-1}$  ( $126 \text{ km.h}^{-1}$ ), Luční bouda  $33,4 \text{ m.s}^{-1}$  ( $120 \text{ km.h}^{-1}$ ) a Mílešovka  $31,2 \text{ m.s}^{-1}$  ( $112 \text{ km.h}^{-1}$ ). Ale i v nižších polohách byly rychlosti větru v nárazech vysoké: Ústí nad Labem, Kočkov  $31,3 \text{ m.s}^{-1}$  ( $113 \text{ km.h}^{-1}$ ), Kuchařovice  $29,9 \text{ m.s}^{-1}$  ( $108 \text{ km.h}^{-1}$ ) nebo Luká u Litovle  $28,3 \text{ m.s}^{-1}$  ( $102 \text{ km.h}^{-1}$ ). První jarní den (21. března – astronomické jaro začalo 20. března v 17:57 hodin) byl nejteplejším dnem března, teplota však na žádné stanici nepřesáhla hranici letního dne ( $25^\circ\text{C}$ ): Dobřichovice, okres Praha-západ,  $24,1^\circ\text{C}$ , nejvyšší březnová teplota, nebo Doksany, okres Litoměřice,  $23,8^\circ\text{C}$ . Historicky nejčasnější letní den byl zaznamenán 21. března 1974 na stanici Čáslav, Nové Město ( $25,4^\circ\text{C}$ ); v roce 2014 byl však prvním letním dnem až 19. květen. Nejvyšší úhrn srážek byl zaznamenán na stanici Vrbno pod Pradědem, Vidly 23. března ( $51,8 \text{ mm}$ ). V tento den v pohraničních horách vzrostla nepříliš vysoká vrstva celkové sněhové pokrývky (na Luční boudě 30 cm, v Železné Rudě, Špičák 27 cm a na Pomezních boudách 25 cm nového sněhu). V prvních měsících roku se u nás zpravidla vyskytuje nejvyšší sněhová pokrývka. V tomto

roce byla v období od ledna do března největší výška celkové sněhové pokrývky jen 73 cm na Labské boudě ze dne 25. března (obr. 5). Staniční síť pro měření výšky sněhové pokrývky nemůže zachytit všechna místa, kde by bylo zajímavé výšku



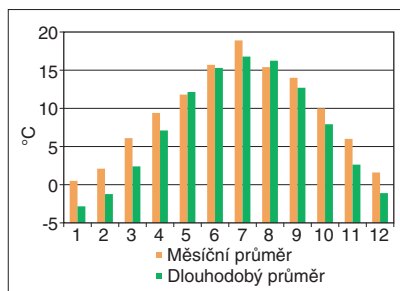
Obr. 1 Průměrná roční teplota (a) v roce 2014 a odchylka od normálu 1961–1990 (b).

Fig. 1. Annual average of temperature (a) in 2014 and deviation from normal 1961–1990 (b).



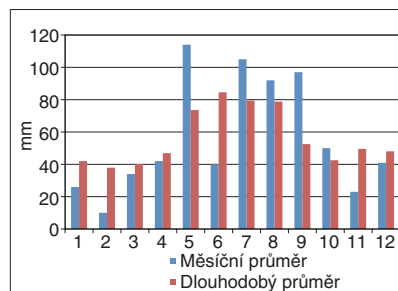
Obr. 2 Průměrná roční teplota vzduchu v ČR od roku 1771 proložená 11letým klouzavým průměrem.

Fig. 2. Annual average of temperature since 1771 for the Czech Republic with an 11-year moving average.



Obr. 3 Roční chod teploty vzduchu v roce 2014 ve srovnání s dlouhodobým průměrem za období 1961–1990 (prostorové průměry teploty pro území ČR).

Fig. 3. The annual course of air temperature in 2014 in comparison to the long-term average for the period 1961–1990 (spatial air temperature averages for the CR).



Obr. 4 Roční chod srážek v roce 2014 ve srovnání s dlouhodobým průměrem za období 1961–1990 (prostorové úhrny srážek pro území ČR).

Fig. 4. The annual course of precipitation in 2014 in comparison to the long-term average for the period 1961–1990 (spatial precipitation totals averages for the CR).

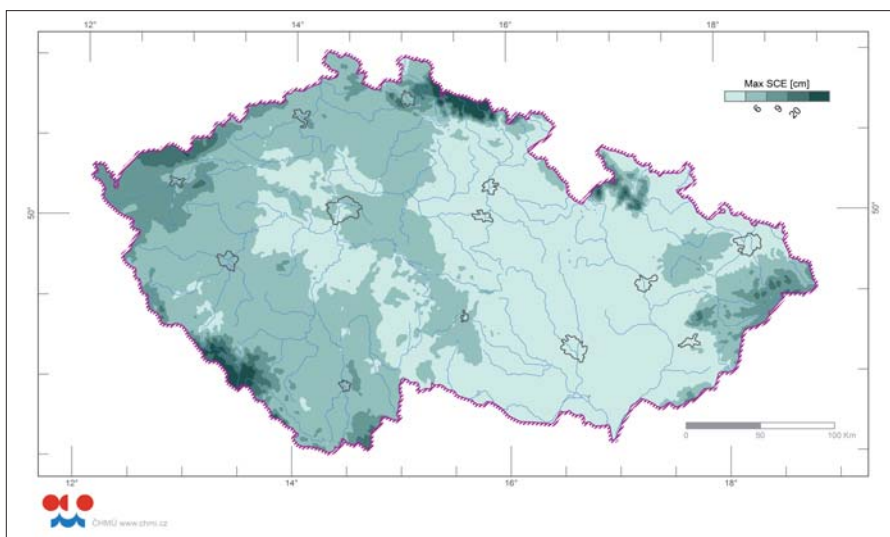
sněhu měřit. Proto byly i v roce 2014 prováděna expediční měření v některých horských oblastech Česka. Např. v Krkonoších byla 20. března v oblasti zvané Růženčina zahrádka změřena výška sněhu 43 cm. Expediční měření však nemůže být zařazeno do standardních statistických zpracování, tyto hodnoty jsou určeny hlavně k aktuálním výpočtům zásob vody ve sněhové pokrývce. Nejnižší březnová teplota  $-17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  byla naměřena na šumavské Rokytské slati 26. března.

### Duben

Na začátku dubna se na Kychově (levostranný přítok Vsetínské Bečvy) vyskytla krátká přívalová povodeň, srážkoměrná stanice Huslenky, Kychová zaznamenala 4. dubna od 16 do 18 hodin 51 mm srážek. Počasí se snažilo v dubnu dohnat deficit sněhových srážek, a tak byly 15. dubna zaznamenány hodnoty výšky nového sněhu i nad 10 cm: na Pomezních boudách (okres Trutnov) a Lysé hoře v Beskydech 15 cm a na Luční boudě 13 cm. Podobné vydatné sněžení s výškou nového sněhu nad 10 cm se v roce vyskytlo jen v 15 dnech. Nejteplejším dnem byl 25. duben, kdy v Doksanech, okres Litoměřice, dosáhla teplota téměř k hranici letního dne ( $24,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), nejchladněji bylo 17. dubna na Horské Kvildě ( $-13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Nejvyšší dubnový úhrn srážek 72,3 mm byl zaznamenán 27. dubna v Terešově, okres Rokycany, kde od 17:30 do 20:00 napršelo 65,2 mm.

### Květen

Denní úhrn srážek 15. května přesahoval hranici 100 mm na stanicích v Moravskoslezských Beskydch: Morávka, Úspolka ve výšce 532 m (131 mm) a Krásná, Visalaje ve výšce 805 m (106,4 mm). Přestože tyto srážky nebyly příliš intenzivní, způsobily v této oblasti 16. května krátkodobý vzestup Olše v Českém Těšíně mírně nad hranici třetího stupně povodňové aktivity (3. SPA), což lze považovat za první povodňovou situaci v roce. Intenzivní srážky se vyskytly i 17. května odpoledne v Krkonoších (např. Pomezní Boudy zaznamenaly denní úhrn 58,8 mm, Bílý Potok, Smědava 56,0 mm, Luční bouda 55,8 mm a Labská bouda 53,6 mm), a způsobily překročení 3. SPA na Labi v profilech Labská a Vestřev a na Smědě v Předláních. První letní den v roce se vyskytl 19. května ve Staňkově, okres Domažlice, a v dalších dnech na mnoha stanicích. V poslední dekádě května se vyskytly první dny s tropickou nocí (noci, kdy minimální noční teplota neklesne pod  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Na stanicích Bystřice pod Hostýnem, okres Kroměříž, a Paseka, okres Olomouc, klesla minimální teplota 23. května jen na  $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a na stanicích Vizovice, okres Zlín, a Mořkov, okres Nový Jičín, na  $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po této tropické noci se na mnoha místech v ČR vyskytl i dusný den s tlakem vodní páry v 15 hodin vyšším než 18,8 hPa – Kopisty 21,1 hPa nebo Kralupy nad Vltavou 20,8 hPa, přičemž se dusné dny vykytovaly na jednotlivých stanicích každý den až do 28. května. Na konci května, 26. až 28. května, byly v intenzivních bouřkách ve východní části Čech a na Moravě zaznamenány přívalové srážky s vysokými hodinovými, několikahodinovými i denními úhrny srážek.



Obr. 5 Maximum výšky celkové sněhové pokrývky v období leden až březen 2014.

Fig. 5. Maximum of total snow cover from January to March 2014.

Na Vsetínsku a Zlínsku bylo na manuální srážkoměrné stanici Velké Karlovice, Pluskovec, okres Vsetín, 26. května naměřeno 75,8 mm a ve Zlíně, Velikové 65,0 mm. V Hošťálkově, okres Vsetín, 60,8 mm za den, ale z toho 55,6 mm za jednu hodinu od 14:00 do 15:00, stanice indikovala srážku v čase od 13:45 do 15:05 s celkovým úhrnem 55,7 mm. Další den, 27. května, přesáhl na Příbramsku denní úhrn srážek hranici 100 mm na stanicích Nečín, Bělohrad (125,2 mm) a Kamýk nad Vltavou (106,5 mm). Na Plzeňsku na stanici Borovno, Míšov byl v tento den denní úhrn srážek 93,3 mm (úhrn od 21 h do půlnoci dosáhl 47,0 mm) a ve Spáleném Poříčí 79,2 mm za 24 hodin. Ve Zlatých Horách, okres Jeseník, byl denní úhrn 76,2 mm s nejvyšším hodinovým úhrnem 41,7 mm od 13:00 do 14:00. V severních Čechách zaznamenala stanice Ústí nad Labem, Kočkov 65,7 mm za den s úhrnem 58,7 mm v čase od 16:20 do 19:00. A stejně jako v předchozím dni se silné deště nevyhnuly ani východní Moravě. Na stanici Rajnochovice, okres Kroměříž, byl zaznamenán denní úhrn 62,4 mm. V posledním dni tohoto třídenního období, 28. května, napršelo ve Zlatých Horách, okres Jeseník, 68,5 mm (22,5 mm v době od 19:00 do 20:00), v Semčicích, okres mladá Boleslav, 63,8 mm (50,8 mm od 15:00 do 16:00), v Budišově, okres Třebíč, 62,0 mm a v Řendějově, okres Kutná Hora, 60,2 mm. Třídenní vysoké úhrny srážek znamenaly překročení třetích stupňů povodňové aktivity na Úslavě, profil Koterov, na Klabavě, profily Hrádek, Nová Huť a vodní dílo Klabava, na Jičíně v Novém Jičíně a na Černém potoce v profilu Velká Kraš. Za celý měsíc květen napršelo na některých stanicích i více než 300 mm srážek (obr. 6a a 6b) – Zlaté Hory, okres Jeseník, 347,0 mm (35 % průměrného ročního úhrnu), Morávka, Úspolka, okres Frýdek Místek, 316,8 mm (23 %) a Mikulovice (okres Jeseník) 315,2 mm (38 %).

### Červen

V červnu se po nočním vyjasnění vyskytovala velká denní amplituda teploty. Tak tomu bylo 9. června, kdy na některých jihočeských stanicích ranní minimální teplota klesla pod  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a odpolední maximální teplota dosahovala hodnot vyšších než  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Například na stanici Volary ve výšce 748 m n. m. byla denní amplituda  $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (maximum  $31,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a minimum  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nebo na stanici Hlinišť, okres Prachatice, ve výšce 800 m byla amplituda  $28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $31,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Nejteplejším

dnem v roce byl 10. červen, kdy byl zaznamenán tropický den na celém území Česka, a to i v nadmořských výškách kolem 800 m (na Milešovce byla maximální denní teplota 32,5 °C ve výšce 831 m, v jižních Čechách na stanici Lenora, Houžná 30,3 °C ve výšce 804 m a Hliniště 31,0 °C ve výšce 800 m). V nižších polohách bylo samozřejmě tepleji, ve Strážnici na moravsko-slovenském pomezí byla maximální denní teplota 35,9 °C (nejvyšší maximální teplota v roce), v Ústí nad Labem, Vaňově 35,8 °C nebo v Brodě nad Dyjí 35,7 °C. Na konci června v oblastech, které jsou označovány jako mrazové kotliny, ještě docela běžně klesá minimální teplota měřená ve 2 metrech nad povrchem do záporných hodnot. Tak tomu bylo i 27. června, šest dní po začátku astronomického léta, na Rokytské slati (−4,7 °C), na Břežníku (−3,4 °C) nebo na Horské Kvildě (−2,8 °C). Nejvyšší červnový denní úhrn srážek 74,6 mm byl zaznamenán 25. června na Pomezních boudách v Krkonoších.

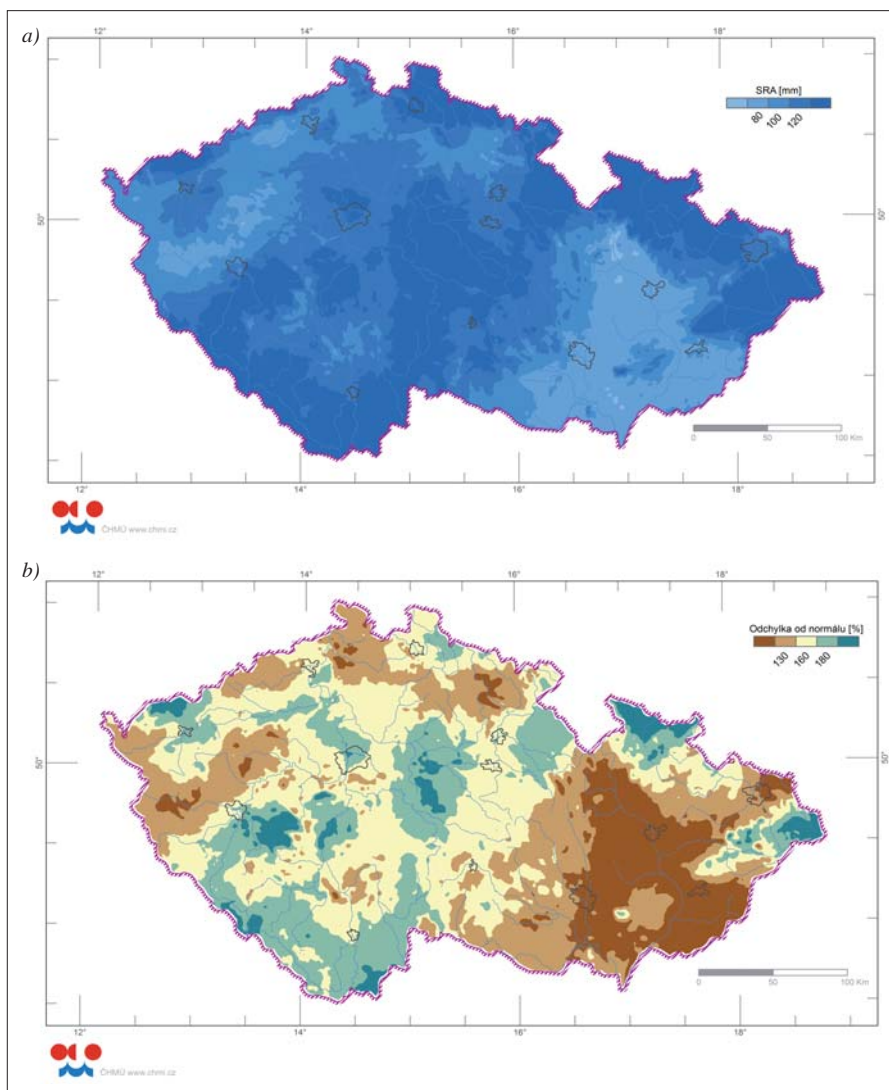
### Červenec

Ještě i na začátku července klesala v mrazových kotlinách teplota pod bod mrazu. 2. července bylo ranní minimum na Rokytské slati −3,5 °C a 4. července −3,2 °C. Zvlněná studená fronta přinesla 8. července do západní části Česka frontální srážky, na mnoha místech s denními úhrny přes 50 mm: Jilemnice, okres Semily, 75,9 mm, Netunice, okres Plzeň-jih, a Roudnice nad Labem, (okres Litoměřice, 70,7 mm, Churáňov 67,1 mm, Jistebnice, okres Tábor), 66,9 mm, Litoměřice 66,5 mm nebo Jílové u Prahy 66,4 mm. Silné dešťové přeháňky a bouřky přinesly 11. července vyšší úhrny srážek na severní Moravu: Hodslavice, okres Nový Jičín, 69,5 mm nebo Frýdek-Místek 65,4 mm. Jedním z nejteplejších dní v roce byl 20. červenec, kdy teplota na mnoha místech středních Čech přesáhla hranici 35 °C: Brandýs nad Labem, 35,5 °C, Tuhaň, okres Mělník, a Doksany 35,3 °C a Česká Lípa 35,2 °C. Tato hranice byla v tento den překonána i na jižní Moravě ve Strážnici 35,1 °C. O dva dny později, 22. července, se vyskytla poslední tropická noc s minimální teplotou nad 20 °C: Jičín 21,1 °C, Holovousy, okres Jičín, 20,5 °C a 20,3 °C na stanici Hradec Králové, Svobodné Dvory a na stanici Lázně Bělohrad, okres Jičín. V historii jsme zaznamenali tropické noci i v září, nejpozději v Ostravě, Mošnově a Holešově 30. září 1991. Nejvyšší červencový úhrn srážek 81,7 mm byl zaznamenán 21. července ve Zdicích, okres Beroun. V tento den výrazně pršelo i v Moravskoslezských Beskydech (Bílá, Hlavatá 89,2 mm). A opět na severovýchodní Moravě se 28. července v odpoled-

ních hodinách vyskytly silné bouřky s krátkodobými úhrny srážek ojediněle i nad 30 mm. Nejvyšší denní úhrn byl naměřen v Bílé, Konečné 64,3 mm, v Jablunkově, Návsí 60,7 mm na Vsetínsku ve Zdechově 58,0 mm a v Huslenkách, Kychové 51,2 mm. Vysoké úhrny byly zaznamenány i v poslední den měsíce, 31. července, v jihovýchodní části republiky: Brno, Jundrov 88,9 mm, Hradec nad Svitavou, okres Svitavy, 85,3 mm a Březová nad Svitavou, okres Svitavy, 83,0 mm, Bučovice, Kloboučky, okres Vyškov, 74,7 mm, Stvolová, Skřib, okres Blansko, 69,8 mm, Gajer, Janov, okres Svitavy, 65,5 mm.

### Srpen

V teplém a vlhkém vzduchu se 3. srpna vytvářela výrazná kupovitá oblačnost, která byla ojediněle doprovázena přivalovými srážkami. Na stanici Svratouch ve Žďárských vrších byl zaznamenán denní úhrn srážek 131,0 mm, což byl nejvyšší srpnový úhrn; v době od 13 do 14 hodin napršelo 66,7 mm. Tyto přivalové srážky způsobily na horním toku Novohradky překročení 3. SPA v profilu Luže, okres Chrudim. Na jižní Moravě byly 23. srpna ojediněle naměřeny úhrny srážek přesahující 50 mm. Nejvíce zasaženou oblastí bylo území mezi Břeclaví



Obr. 6 Měsíční úhrn srážek v květnu 2014 (a) a srovnání s normálem 1961–1990 (b).

Fig. 6. Monthly precipitation total in May 2014 (a) and comparison to normal 1961–1990 (b).

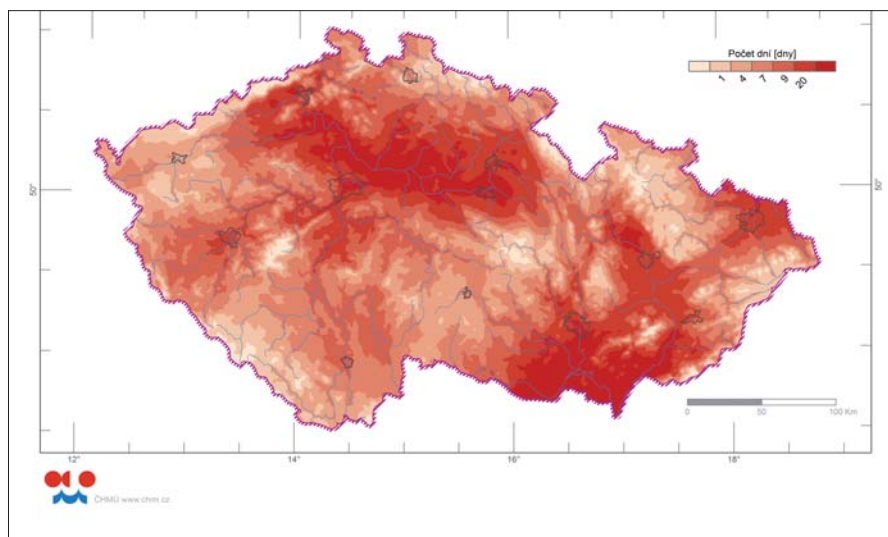
a Hodonínem, kde na srážkoměrné stanici Hrušky, okres Břeclav byl naměřen úhrn 64,0 mm a na stanici Prušánky, okres Hodonín, 48,7 mm; na této srážkoměrné stanici napršelo v čase od 18:20 do 20:20 43,0 mm. Dalším místem, kde napršely významné srážky, byla obec Veliková, okres Zlín, kde od 18:40 dne 23. 8. do 02:00 dne 24. 8. spadlo 48,3 mm srážek. 25. srpna byla naměřena nejnižší teplota  $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na Rokytské slati a nejvyšší 10. srpna v Brandýse nad Labem, Staré Boleslavi  $34,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V srpnu byl pouze šestkrát zaznamenán tropický den a poslední tropický den v roce byl už 11. srpna; tropické dny se v ČR běžně vyskytují i kolem 20. září, nejpозději zaznamenaný byl 4. října 1929 v Litvínovicích u Českých Budějovic. Roční počet tropických dní (obr. 7) se však na stanicích pohyboval kolem průměru, ale například Strážnice zaznamenala 23 tropických dní (dlouhodobý průměr 14 dní) a Brandýs nad Labem, Stará Boleslav 22 (průměr 12 dní).

### Září

Na začátku září bylo ukončeno více než 25 dní trvající chladné počasí a 4. září byl zaznamenan letní den (teplota nad  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) s teplotou nad  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , např. Doksany  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Bojkovice  $27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo Štítná nad Vláří  $27,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Předchozí teplé dny s teplotou nad  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  se vyskytly naposledy 18. srpna, jen v jihomoravské Strážnici, a 11. srpna na celé Moravě. Tlaková níže Biggy přinesla na konci první a na začátku druhé dekády září do střední Evropy deštivé počasí. Na mnoha místech jižní Moravy byly zaznamenány vyšší denní srážkové úhrny. 11. září zaznamenala Velká nad Veličkou, okres Hodonín, 71,1 mm, Mikulov, okres Břeclav, 63,3 mm, Dolní Věstonice (okres Břeclav) 62,5 mm. Nejvyšší stupeň povodňové aktivity byl překonán 12. září na Veličce v profilech Velká nad Veličkou a Strážnice. 13. září napršelo opět na jižní Moravě na mnoha místech hodně přes 50 mm srážek, v Dolních Věstonicích 153,2 mm (nejvyšší úhrn srážek září i celého roku), na stanici Miroslav, okres Znojmo, 126,0 mm a Branišovice ve stejném okrese dosáhl denní úhrn srážek přesně 100,0 mm. Tok Jevišovky přesáhl 3. povodňový stupeň 14. září v profilech Jevišovice, Výrovce, zde byla překročena padesátiletá N-letost povodně, a Božice, o den později ještě v profilu Hrušovany nad Jevišovkou.

### Říjen

Poslední letní den se na našem území vyskytl 9. října. Po přední straně tlakové níže se středem nad Britskými ostrovy k nám proudil velmi teplý vzduch od jihozápadu a maxima teploty ojediněle překonala  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (hranice pro letní den), na stanici Staňkov (okres Domažlice)  $25,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  a na šumavské horské stanici Hlinišť (okres Prachatice) ve výšce 800 m  $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 22. října byly na celém území zaznamenávány trvalé, místy vydatné, frontální srážky. Denní úhrny byly na mnoha místech vyšší než 50 mm, v okrese Klatovy napršelo na stanici Železná Ruda 77,8 mm (nejvyšší říjnový úhrn), v Železné Rudě, Špičák 58,6 mm a na Horské Kvildě 57,4 mm, ve Filipově Huti 54,1 mm a na Churáňově, okres Prachatice,



Obr. 7 Počet tropických dní v roce 2014.

Fig. 7. Annual number of tropical days in 2014.

52,5 mm. Hydrologická odezva byla zaznamenána na mnoha tocích, 3. SPA byl překročen na Černé v Ličově a na Otavě v Sušici. První sněhová pokrývka v zimním půlroce 2014/2015 byla zaznamenána až 23. října v Beskydech, 10 cm, postupně do konce měsíce však roztála. Říjnové bouřky se na našem území vyskytují každoročně, ale na stejných lokalitách se podle Atlasu podnebí (Tolasz a kol. 2007) v průměru vyskytuje bouřkový den v říjnu jen jednou za 5 let. Na patnácti meteorologických stanicích byla však zaznamenána bouřka ve dvou posledních letech za sebou (2014 a 2013). Stalo se tak v jižních Čechách v okresech Prachatice (Frantoly, Klenovice, Kubova Huť a Ktiš, Tisovka) a Český Krumlov (Zbytiny). V západních Čechách na plzeňské Mikulce a v Nezvěsticích, okres Plzeň-město, ve Spáleném Poříčí, okres Plzeň-jih, ve Starém Sedle, Darmyšli, ve Stříbře a v Tachově, okres Tachov, v Liblíně, okres Rokycany a v Dolním Žandově (okres Cheb); v Praze na stanici Kbely a ve východních Čechách v Novém Bydžově, okres Hradec Králové a v Žehuni, okres Nymburk. Nejchladnějším dnem s minimální teplotou  $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  byl 25. říjen na stanici Rokytská slat.

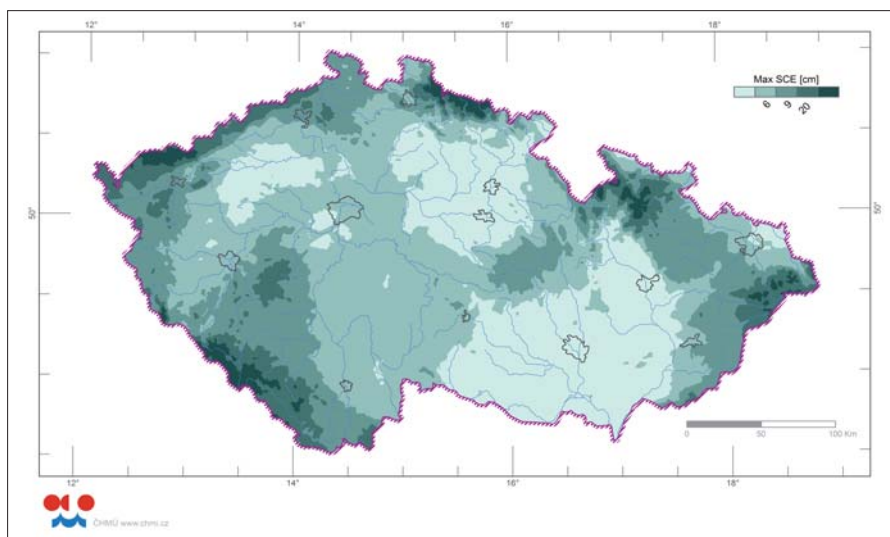
### Listopad

Začátek listopadu přinesl do střední Evropy návrat teplého počasí. Na několika stanicích s dlouhou řadou pozorování byla překonána nebo dorovnána dosavadní listopadová maxima teploty. Například v Krásném Údolí, okres Karlovy Vary, která měří teplotu od roku 1981, byla naměřena hned 1. listopadu maximální teplota  $18,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což bylo o celé  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  více než předchozí maximum ze 14. listopadu 2010. Ze stejného dne bylo překonáno maximum  $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  i v Mariánských Lázních, vodárně, když dosáhla 2. listopadu teplota až na hodnotu  $16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 4. listopadu přesáhly na severovýchodní Moravě hodnoty maximální denní teploty hranici  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  – nejvyšší listopadová teplota byla naměřena v Karvině ( $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Nejvyšší denní úhrn srážek 34,6 mm byl naměřen na stanici Valašské Klobouky, okres Zlín, 7. listopadu. Od 14. do 16. listopadu trvala první smogová situace další zimní sezony v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek Místek bez Třinecka. V průběhu listopadu se ani na horách nevytvořila významnější vrstva sněhu, maximálně 4 cm na Lysé hoře a v Krásné, Visalajích v Beskydech, ale námrazkové jevy dosahovaly místy zajímavých hodnot. 20. listopadu byla naměřena

na Šeráku v Jeseníkách 3,7 mm silná vrstva ledovky.

### Prosinec

Prosinec si budeme dlouho pamatovat, protože hned 1. prosince odpoledne se začala na téměř celém území vytvářet ledovka. Podle Meteorologického slovníku (Sobíšek a kol. 1993) je ledovka souvislá, zpravidla homogenní průhledná ledová vrstva, která vzniká při mrznoucím mrholení nebo mrznoucím dešti, buď zmrznutím přechlazených vodních kapek při dopadu na zemský povrch nebo na předměty, jejichž teplota je záporná nebo slabě nad 0 °C a/nebo zmrznutím nepřechlazených vodních kapek okamžitě při dopadu na zemský povrch nebo na předměty, jejichž teplota je výrazně záporná. Meteorologické příčiny této ledovkové situace podrobně rozebral Mejstřík (2014), problémy hlavně v trolejové dopravě (vlaky, tramvaje, trolejbusy) přetrvávaly až do 3. 12. Na severní Moravě byla ledovka plynule vystřídána inverzním zvrstvením atmosféry a špatnými rozptylovými podmínkami. Od 4. do 8. prosince byla vyhlášena smogová situace postupně ve všech čtyřech oblastech stanovených legislativou. V oblasti Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka trvala smogová situace 89 hodin; delší smogová situace byla vyhlášena naposledy v listopadu 2012. V polovině měsíce byly v Česku zaznamenány projevy hluboké tlakové níže Engel, která z oblasti Islandu postupovala nad Skandinávii a ve dnech 18. a 19. prosince způsobila na našem území zesílení větru. Největší náraz byl zaznamenán na stanicích Sněžka, Poštovna 38,3 m.s<sup>-1</sup> (138 km.h<sup>-1</sup>), Milešovka 25,8 m.s<sup>-1</sup> (93 km.h<sup>-1</sup>) nebo Churáňov 25,5 m.s<sup>-1</sup> (92 km.h<sup>-1</sup>). I v dalších dnech byla v nejvyšších polohách zaznamenávána velká rychlost větru, např. 42,7 m.s<sup>-1</sup> (154 km.h<sup>-1</sup>) 22. prosince na Lysé hoře v Beskydech. Ve stejný den (22. prosince) byl naměřen nejvyšší úhrn srážek 35,3 mm na Labské boudě. Na konci prosince jsme se dočkali velmi nízkých hodnot teplot. V noci na 27. prosince byl v mrazových kotlinách na Šumavě naměřen nejsilnější mraz na stanicích Rokytská sláť -27,2 °C, Březník -26,1 °C, a Horská Kvilda -21,3 °C. I v ranních hodinách 30. prosince klesla v mrazových kotlinách a na východě Moravy teplota znovu pod -20 °C, Rokytská sláť -24,8 °C, Horská Kvilda -21,8 °C, Březník -21,1 °C a Mořkov -20,1 °C. Nejnižší teplota v noci z 30. na 31. prosince byla naměřena na východě Moravy na stanicích Hoštálková (okres Vsetín) ve výšce 385 m n. m. -20,6 °C a Mořkov (okres Nový Jičín) ve výšce 345 m -20,5 °C. Příčinou nízké teploty byla přítomnost velmi studeného vzduchu na sněhové pokrývce, večerní vyjasnění a slabý vítr. Nejnižší hodnoty byly změřeny ve večerních hodinách, ale během noci se s přesunem studeného vzduchu dále na východ již postupně oteplovalo. V těchto závěrečných dnech byl na několika stanicích zaznamenán arktický den s maximální teplotou nižší než -10 °C. 27. prosince na Sněžce -12,0 °C, na Luční boudě -10,6 °C, na Šeráku -10,7 °C, na Lysé hoře v Beskydech -10,5 °C a na Labské boudě -10,2 °C. 28. prosince na Sněžce -12,7 °C, na Luční boudě -11,6 °C, na Labské boudě a na krušnohorském Klínovci -10,8 °C, na Šeráku -10,6 °C a na Lysé hoře -10,4 °C. 29. pro-



Obr. 8 Maximum výšky celkové sněhové pokrývky v období říjen až prosinec 2014.

Fig. 8. Maximum of total snow cover from October to December 2014.

since na Sněžce -12,3 °C, na Lysé hoře -11,5 °C, na Luční boudě -11,2 °C, na Šeráku -11,1 °C a na Labské boudě -10,7 °C. 30. prosince na Lysé hoře -14,3 °C, na Javorovém vrchu u Třince -12,0 °C a na Šeráku -11,7 °C. Na Lysé hoře v Beskydech a na jesenickém Šeráku se tak vyskytly čtyři arktické dny za sebou. Výška sněhové pokrývky minimálně 10 cm se alespoň na horách začala tvořit až po 12. prosinci a na konci roku leželo nejvíce sněhu na Labské boudě 49 cm (obr. 8).

### 3. UDÁLOSTI VE SVĚTĚ

Podobně podrobný přehled významných událostí v Evropě a ve světě by byl příliš obsáhlý. Nejvýznamnější události jsou každoročně uvedeny v českém překladu zprávy Světové meteorologické organizace (Pokorný, Zusková 2014). Zde jsou připomenuty jen vybrané události, které byly v průběhu roku diskutovány mezi odbornou i laickou veřejností v Česku.

Ve střední Evropě se na začátku roku vyskytovala sněhová pokrývka jen v horských oblastech a její výška byla minimální. Vydatné sněhové srážky však byly v poslední březnové dekádě zaznamenány ve Slovinsku, kde v oblasti Julských Alp narostla výška sněhu až nad hranici pěti metrů. Stanice Kredarica (ID 14008, 46°22' s. š., 13°50' v. d., nadmořská výška 2 514 m n. m.) měla 23. března i pro tuto oblast nezvyklých 560 cm sněhu. Začátkem července (3. července) se v oblasti Atlantiku u Floridy vytvořil první hurikán nové sezony, který dostal jméno Arthur. Ve svém vývoji dosáhl u břehů Severní Karolíny druhého stupně z pětibodové Saffirovy-Simpsonovy stupnice.

Silné deště zapříčinily 19. srpna sesuvy podmačené půdy v některých částech prefektury Hirošima v Japonsku. Nejvyšší úhrny zaznamenaly stanice na severu a severozápadě ostrova Šikoku a na severozápadě ostrova Honšú. Na stanici Sasebo (ostrov Šikoku, prefektura Nagasaki, ID 47811, 33°9' s. š., 129°44' v. d., nadmořská výška 19 m n. m.) překonal denní úhrn 237 mm dokonce srpnový průměrný měsíční srážkový úhrn (188,1 mm za období 1960–1990). Vysoké denní srážkové úhrny spadly také na dalších stanicích v oblasti: Saga (ID 47813, 33°16' s. š., 130°0' v. d., nadmořská výška 5 m) 134 mm, Iizuka (ID 47809, 33°39' s. š., 130°42' v. d., nadmořská výška 37 m) 92 mm nebo Fukuoka (ID 47807, 33°35' s. š., 130°23' v. d., nadmořská výška 3 m) 59,5 mm.

V první polovině října proudil do oblasti centrálního Středomoří, oblast Sardinie a Korsiky velmi teplý vzduch ze severní Afriky. Podle údajů Météo France byla rekordní teplotní maxima na Korsice naměřena 13. října odpoledne. Stanice Solenzara (ID 07765, 41°55' s. š., 9°23' v. d., nadmořská výška 9 m) na východním pobřeží zaznamenala 31,3 °C a překonala tak o 0,8 °C dosavadní říjnový rekord z 3. října 2006. Naproti tomu v oblasti Janovského zálivu (Itálie) se v období od 7. do 10. října vyskytovaly silné opakující se bouřky. Ty nejsilnější zasáhly Janov a jeho blízké okolí 9. října večer a v noci na 10. října. Během hodiny napršelo 300 mm srážek, celkem zde za 4 dny spadlo přes 500 mm srážek.

Supertajfun Nuri se postupně vyvíjel v Tichém oceánu severně od Papui Nové Guiney od 30. října do 7. listopadu. Jako hluboká tlaková níže postupoval poté přes Beringovo moře směrem k Aljašce. V této oblasti se jedná pravděpodobně o historicky nejsilnější bouři, tlak ve středu níže klesl na rekordních 924 hPa; dosavadní minimum změřené nad Beringovým mořem bylo 926 hPa. Bouře vyvolala intenzivní příboj na pobřeží, vlny dosahovaly až 14 metrů.

Na konci listopadu se v oblasti nižšího tlaku vzduchu nad Středomořím vyskytovaly silné bouřky, na jihu Francie doprovázené přívalovými srážkami. Nejvyšší denní úhrn srážek 158 mm byl naměřen 25. listopadu na stanici Hyères (poblíž města Toulon, ID 07667, 43°5' s. š., 6°8' v. d., nadmořská výška 2 m). Národní meteorologické služby Francie i Itálie vydávaly v těchto dnech výstrahy na bouřky a vydatné srážky.

#### Literatura

- MEJSTŘÍK, T., 2014. Na začátku prosince zasáhla Českou republiku poměrně výrazná epizoda mrznoucích srážek. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, č. 6, s. 192, ISSN 0026-1173.
- POKORNÝ, V., ZUSKOVÁ, I., 2014. Zpráva Světové meteorologické organizace o stavu počasí a podnebí ve světě v roce 2013. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, č. 3, s. 65–72, ISSN 0026-1173.
- SOBÍŠEK, B. a kol., 1993. Meteorologický slovník výkladový terminologický. Praha: Academia a MŽP. ISBN 80-85368-45-5 [online]. [cit. 15. 1. 2015]. Dostupné z WWW: <http://slovník.cnes.cz/>
- ŠTĚPÁNEK, P., 2005. Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření. Diplomová práce, Brno: Geografický ústav PřF MU. 136 s.
- TOLASZ, R. a kol., 2007. Atlas podnebí Česka. Praha a Olomouc: ČHMÚ, UP, 1. vydání, 256 s., ISBN 978-80-86690-26-1.

Internetové zdroje [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz) a [www.infomet.cz](http://www.infomet.cz)

Lektor (Reviewer): RNDr. Luboš Němec

Tab. 1 Nejvyšší maximální denní teplota [°C] v roce 2014.

Table 1. The highest maximum daily temperature [°C] in 2014.

| ID stanice | Název                             | Okres          | Nadm. výška [m n. m.] | Datum  | Maximální teplota [°C] |
|------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------|--------|------------------------|
| B1STRZ01   | Strážnice                         | Hodonín        | 176                   | 10. 6. | 35,9                   |
| U1ULMA01   | Ústí nad Labem, Vaňov             | Ústí nad Labem | 150                   | 10. 6. | 35,7                   |
| B2BROD01   | Brod nad Dyjí                     | Břeclav        | 177                   | 10. 6. | 35,6                   |
| U2CELI01   | Česká Lípa                        | Česká Lípa     | 246                   | 10. 6. | 35,6                   |
| L1PLZB01   | Plzeň, Bolevec                    | Plzeň-sever    | 328                   | 11. 6. | 35,5                   |
| P2BRAN01   | Brandýs nad Labem, Stará Boleslav | Praha-východ   | 179                   | 20. 7. | 35,5                   |

Pozn: maximální teploty ze stanice Praha, Karlov (20. 7. 36,3 °C, 10. 6. a 11. 6. 35,8 °C) nejsou v tabulce uvedeny vzhledem k jejímu nestandardnímu umístění na střeše budovy.

Tab. 2 Nejnižší minimální denní teplota [°C] v roce 2014.

Table 2. The lowest minimum daily temperature [°C] in 2014.

| ID stanice | Název            | Okres               | Nadm. výška [m n. m.] | Datum   | Minimální teplota [°C] |
|------------|------------------|---------------------|-----------------------|---------|------------------------|
| C1ROSL01   | Rokytská sláť    | Klatovy             | 1 100                 | 27. 12. | -27,2                  |
| C1BRZK01   | Březník          | Klatovy             | 1 133                 | 27. 12. | -26,1                  |
| C1ROSL01   | Rokytská sláť    | Klatovy             | 1 100                 | 29. 12. | -25,7                  |
| C1ROSL01   | Rokytská sláť    | Klatovy             | 1 100                 | 30. 12. | -24,8                  |
| P2KORE01   | Kořenov, Jizerka | Jablonec nad sNisou | 858                   | 26. 1.  | -24,8                  |

Tab. 3 Nejvyšší denní úhrn srážek [mm] v roce 2014.

Table 3. The highest daily precipitation amount [mm] in 2014.

| ID stanice | Název            | Okres         | Nadm. výška [m n. m.] | Datum  | Denní úhrn [mm] |
|------------|------------------|---------------|-----------------------|--------|-----------------|
| B2DVES01   | Dolní Věstonice  | Břeclav       | 172                   | 13. 9. | 153,2           |
| H3SVRA01   | Svratouch        | Chrudim       | 734                   | 3. 8.  | 131,0           |
| O1USPO01   | Morávka, Úspolka | Frýdek-Místek | 532                   | 15. 5. | 131,0           |
| B2MIRO01   | Miroslav         | Znojmo        | 238                   | 13. 9. | 126,0           |
| P1NBEL01   | Něčín, Bělohrad  | Příbram       | 465                   | 27. 5. | 125,2           |

Tab. 4 Nejvyšší třídenní úhrn srážek [mm] v roce 2014.

Table 4. The highest value of three days' sum of precipitation [mm] in 2014.

| ID stanice | Název                 | Okres               | Nadm. výška [m n. m.] | Datum       | Úhrn [mm] |
|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-------------|-----------|
| O1LYSA01   | Lysá hora             | Frýdek-Místek       | 1 322                 | 14.–16. 5.  | 165,6     |
| H3SVRA01   | Svratouch             | Chrudim             | 734                   | 3.–5. 8.    | 154,9     |
| O1PSTR01   | Pstruží               | Frýdek-Místek       | 400                   | 14.–16. 5.  | 146,3     |
| H2LUIS01   | Deštné, Luisino údolí | Rychnov nad Kněžnou | 875                   | 29.–31. 12. | 140,0     |
| O1FREN01   | Frenštát              | Nový Jičín          | 436                   | 14.–16. 5.  | 129,7     |

Tab. 5 Nejvyšší výška celkové sněhové pokrývky [cm] v roce 2014.

Table 5. The highest value of snow cover [cm] in 2014.

| ID stanice | Název         | Okres        | Nadm. výška [m n. m.] | Datum   | Celková výška sněhu [cm] |
|------------|---------------|--------------|-----------------------|---------|--------------------------|
| H1LBOU01   | Labská bouda  | Trutnov      | 1315                  | 25. 3.  | 73                       |
| H1POMB01   | Pomezní boudy | Trutnov      | 1050                  | 25. 3.  | 50                       |
| L3KLIN01   | Klínovec      | Karlovy Vary | 1240                  | 31. 12. | 34                       |
| H1LUCB01   | Luční bouda   | Trutnov      | 1413                  | 6. 1.   | 33                       |
| C1FILH01   | Filipova Huť  | Klatovy      | 1110                  | 25. 3.  | 30                       |

Tab. 6 Největší výška nového sněhu [cm] v roce 2014.

Table 6. The highest value of new snow [cm] in 2014.

| ID stanice | Název                | Okres      | Nadm. výška [m n. m.] | Datum          | Výška nového sněhu [cm] |
|------------|----------------------|------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
| H1LUCB01   | Luční bouda          | Trutnov    | 1413                  | 23. 3.         | 30                      |
| L1SPIC01   | Železná Ruda, Špičák | Klatovy    | 947                   | 23. 3.         | 27                      |
| H1POMB01   | Pomezní boudy        | Trutnov    | 1050                  | 24. 3., 23. 3. | 25                      |
| H1PECS01   | Pec pod Sněžkou      | Trutnov    | 816                   | 20. 12.        | 24                      |
| C1KVIL01   | Kvílda               | Prachovice | 1059                  | 11. 12.        | 23                      |

# PŘÍZEMNÍ OZON JAKO JEDEN Z FAKTORŮ OXIDATIVNÍHO STRESU V HORSKÝCH LESÍCH

Hana Bendáková, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, Benátská 2, 120 00 Praha 2, hana.bendakova@gmail.com

Iva Hůnová, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 / Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, Benátská 2, 120 00 Praha 2, hunova@chmi.cz

**Surface as one of several oxidative stress factors in mountain forests.** Our study examined the ambient ozone ( $O_3$ ) impact on the Norway spruce in the mountain forests of the Czech Republic.  $O_3$  levels were measured in the Jizerské hory Mts. at 11 sites of different altitudes. During the 2006 and 2007 vegetation seasons, we measured using Ogawa diffusive samplers. Three and four-year-old needles were sampled in 2009 and were subsequently used for macroscopic, microscopic, and biochemical analyses. An association was found between altitude,  $O_3$  concentrations and needle injury. Apart from  $O_3$ , the site's exposure to solar radiation was another important factor. The most injured needles were found at the southern Předěl site. In contrast, needles at the northern Rybí loučky site were less injured. Microscopic analysis was apparently the most relevant for the assessment of  $O_3$ -induced oxidative stress injury.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** poškození makroskopické – kyseliny mastné – poškození mikroskopické – ozon přízemní – smrk ztepilý – Jizerské hory

**KEY WORDS:** macroscopic injury – fatty acids – microscopic injury – surface ozone – Norway spruce – Jizerské hory Mts.

## 1. ÚVOD

V současné době představuje znečištění ovzduší přízemním ozonem ( $O_3$ ) jeden z nejdůležitějších problémů v Evropě a  $O_3$  je pokládán za vůbec nejvýznamnější znečišťující látku v ovzduší působící na lesy (EEA 2011). Koncentrace  $O_3$  mají značnou časovou i prostorovou variabilitu záviselou na mnoha faktorech. Za příznivé podmínky pro vznik  $O_3$  je považována vysoká teplota, vysoká intenzita slunečního záření, absence srážek a nízká relativní vlhkost vzduchu (Finlayson-Pitts, Pitts 2000).  $O_3$  je typickou letní škodlivinou a v našich zeměpisných šířkách dosahuje nejvyšší koncentrace od dubna do září (Monks 2000). Protože je  $O_3$  tzv. sekundárním polutantem, nemá tedy vlastní významný emisní zdroj, ale vzniká v ovzduší fotochemickými reakcemi z precursorů, a chemie jeho vzniku není lineární, je velice obtížné snížit jeho imisní koncentrace (Seinfeld, Pandis 1998).

Poškození lesních dřevin přízemním ozonem bylo poprvé zjištěno již v padesátých letech dvacátého století v pohorí San Bernardino v jižní Kalifornii u borovice druhu *Pinus ponderosa* (Miller et al. 1963). Od té doby je vliv  $O_3$  intenzivně studován. Změny na vegetaci způsobené  $O_3$  jsou popsány na úrovni biochemické, buněčné, fyziologické (Long, Naidu 2002), na úrovni druhů i společenstev (Ashmore 2002).  $O_3$  v rostlinách způsobuje změny vedoucí k inhibici fotosyntézy a následnému snížení růstu rostlin (Guderian 1985), často ve spojitosti s vizuálním poškozením (Vollenweider, Günthard-Georg 2006). Účinky jsou prokázány již při běžně se vyskytujících imisních koncentracích.

Převážná část současných znalostí o vlivu  $O_3$  na vegetaci je odvozena na základě výsledků řízených experimentů v laboratorních podmínkách či fumigačních komorách, kdy jsou vlivy  $O_3$  a vzniklá poškození při stálosti ostatních parametrů zřetelná, prokazatelná a mnohem lépe pozorovatelná než v reálných podmínkách skutečného lesa (Hůnová et al. 2010). Citlivost vůči  $O_3$  se u jednotlivých druhů rostlin a dřevin liší. Smrk ztepilý (*Picea abies*) je stejně jako většina jehličnatých dřevin pokládán za spíše méně citlivý druh vůči působení  $O_3$  (UN/ECE 2004), je však zajímavé sledovat jeho poškození vzhledem k významnému zastoupení této dřeviny v našich lesích. Výsledky dosavadních studií vlivu

$O_3$  na smrk v přirozených porostech ČR nejsou jednoznačné. Analýza výsledků dlouhodobého monitoringu (1994–2006) koncentrací malondialdehydu (MDA) jako indikátoru oxidačního stresu v jehličích smrkových porostů v Krkonoších, Jizerských horách a Krušných horách nepotvrdila hypotézu, že zvýšené koncentrace  $O_3$  vedou ke zvýšení MDA v reálných porostech (Hůnová et al. 2010). Naproti tomu byly v souvislosti se zvýšenými koncentracemi  $O_3$  zejména v Krušných horách (Bednářová, Truparová 2009) v reálných porostech pozorovány změny ve struktuře epikutikulárních vosků a výskyt nekrotických skvrn na jehličích smrku. Šrámek et al. (2012) našli statisticky významnou korelaci mezi defoliací smrku a expozičním indexem AOT40, nikoliv však mezi defoliací a koncentracemi  $O_3$ , a Zapletal et al. (2012) dospěli k závěru, že  $O_3$  snižuje čistou ekosystémovou produkci smrkových porostů v ČR.

Prokázat, že poškození bylo skutečně způsobeno  $O_3$ , není jednoduché. Na rozdíl od jiných znečišťujících látek v ovzduší, např.  $SO_2$ , totiž  $O_3$  nezanechává v rostlinách rezidua.  $O_3$  je jedním z faktorů, které přispívají k tzv. oxidačnímu stresu organismů (Iriti, Faoro 2008). Po průniku průduchy do rostliny reaguje  $O_3$  rychle s buněčnými strukturami za vzniku tzv. reaktivních forem kyslíku (ROS, reactive oxygen species), jako jsou např.  $O_2^{\cdot-}$ ,  $OH^{\cdot}$ ,  $H_2O_2$ , které jsou toxické a způsobují peroxidaci a denaturaci membránových lipidů (Mittler 2002). Aerobní organismy si vyvinuly vlastní ochranu proti oxidačnímu stresu. Je to systém antioxidantů, které reagují s oxidanty dříve, než stačí oxidovat molekuly, nebo následně redukovat molekuly, které už byly oxidovány (Sorg 2004). V případě stresu  $O_3$  se nejprve objevují biochemické změny, a to ještě před vznikem viditelných symptomů. Dochází také ke snížení fotosyntézy a snižuje se i vznik proteinů. Všechny tyto změny buněčného metabolismu směřují k udržení a nápravě buněčné struktury (Dizengremel 2001). Nerovnováha mezi vznikem ROS a bezpečnou detoxifikací představuje metabolický stav označovaný jako oxidační stres (Baier et al. 2005). Existuje celá řada faktorů, které kromě  $O_3$  mohou k oxidačnímu stresu přispívat, jako jsou např. jiné znečišťující látky, sluneční záření, mráz, sucho, apod. Často dochází ke spolupůsobení několika faktorů, avšak jejich specifikace je obtížná,

protože mohou působit nepřímo, případně jich působí několik zároveň (Vollenweider, Günthard-Georg 2006).

Řada autorů dokládá, že poškození dřevin  $O_3$  vzrůstá s rostoucí nadmořskou výškou. Je to způsobeno jednak tím, že koncentrace  $O_3$  s nadmořskou výškou zpravidla roste (Chevalier et al. 2007; Brodin et al. 2010), jednak tím, že ve vyšších polohách se průduchy, které představují hlavní cestu příjmu  $O_3$  do rostlin, méně uzavírají kvůli ztrátám vody, protože je tam zpravidla větší vlhkost (Uhlířová et al. 2003; Wieser et al. 2000). Na druhou stranu však dřeviny ve vyšších polohách vykazují vyšší přirozenou detoxifikační kapacitu vůči oxidačnímu stresu a vegetační sezona, během níž přijímají  $O_3$ , bývá v horách výrazně kratší (Wieser et al. 2000). Dalším významným faktorem vlivu  $O_3$  je i expozice jehlic vůči slunečnímu záření. Bylo zjištěno, že osluněné jehlice vykazují vyšší poškození (Matyssek et al. 2004).  $O_3$  způsobuje viditelné změny na asimilačních orgánech rostlin, především chlorózy a nekrózy (Uhlířová, Kapitola 2004). V případě jehličnanů však nejsou tato poškození sama o sobě dostatečně průkazná, a proto je třeba je podpořit zkoumáním mikroskopických a biochemických změn v jehlicích (Novotný et al. 2009; Vollenweider, Günthard-Georg 2006). Poškození způsobená  $O_3$  jsou nejvíce patrná u starších jehlic, které byly vystaveny jeho chronickému působení (Kivimänpää 2004; Soda et al. 2000).

Mikroskopické symptomy poškození se projevují jako kumulace taninů, poškození buněčného jádra, kondenzace cytoplazmy, výskyt inkluzí ve vakuolách. Může dojít i k buněčné smrti (Vollenweider et al. 2003). Typickým symptomem poškození oxidativním stresem za vysokých koncentrací  $O_3$  je i deformace buněk mezofylových pletiv. Šířka buněk se značně zmenšuje a zvětšují se mezibuněčné prostory. To je patrné především u průduchů a u povrchu, při velkém poškození však zasahuje až k cévním svazkům, což bylo v ČR pozorováno např. u smrkového jehličí v Beskydech (Zapletal et al. 2012).

Stres ozonem vede k narušení normálních biochemických procesů, a může tak ovlivnit koncentraci některých biochemických produktů v rostlinné buňce (Ekeberg et al. 1995; Frederick, Heath 1970). Jedná se např. o změny obsahu nenasycených mastných kyselin (MK) obsažených ve fosfolipidech buněčných membrán (Pukacki, Kamińska-Rożek 2002; Wolfeden, Wellburn 1991). Konkrétně se jedná o změnu poměru nasyacených a nenasycených mastných kyselin (Anttonen 1995; Wulff et al. 1996). Volné kyslíkové radikály působí na dvojné vazby nenasycených mastných kyselin, dochází k peroxidaci membránových lipidů, a tím i k poklesu polynenasycených mastných kyselin. Obsah nenasycených MK klesá, obsah nasycených MK naopak stoupá. To ovlivňuje vlastnosti membrány, její propustnost, či citlivost vůči mrazům (Kyburz et al. 1991). U smrku ztepilého byla popsána snížená odolnost vůči mrazům v důsledku působení  $O_3$  (Wolfeden, Wellburn 1991). Při vysokých koncentracích  $O_3$  narůstají mastné kyseliny s krátkým řetězcem, dochází k dezintegraci organel a může následovat kolaps buňky (Wulff et al. 1996).

V České republice v posledních letech výrazně poklesly koncentrace  $SO_2$  (Ostatnická 2012), které byly významným faktorem poškození lesů v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století (Lomský et al. 2001). Imisní koncentrace  $O_3$ , který se měří od roku 1993 v síti národního imisního monitoringu provozovaného ČHMÚ, jsou však relativně vysoké a často dosahují hodnot, které mohou negativně ovlivnit nejen lidské zdraví, ale i vegetaci (Hůnová, Čonková 2009; Hůnová, Schreiberová 2012). V podmínkách českých horských lesů

může mít  $O_3$  značný význam. Imisní koncentrace tu zpravidla zůstávají vysoké ve dne i v noci (Hůnová, Schreiberová, 2012) a ve vyšších polohách bývají průduchy více otevřené příjmu  $O_3$  (Uhlířová et al. 2003).

Pro naši studii byla jako modelová situace zvolena chráněná krajinná oblast Jizerské hory a bylo zde navázáno na sledování koncentrací  $O_3$  v souvislosti s vymezením rizikových oblastí z hlediska potenciálního poškození přirozené vegetace (Hůnová et al. 2008) a se sledováním vizuálních symptomů poškození přirozených druhů citlivé vegetace (Hůnová et al. 2011). V Jizerských horách je řada lokalit, které byly v minulosti poškozeny vlivem imisí a zároveň se zde vyskytují místa s původními nezasazenými porosty. Oblast Jizerských hor je ve srovnání s jinými našimi pohořími pro měření koncentrací  $O_3$  velmi vhodná. Po předchozím odlesnění v důsledku rozsáhlé imisní kalamity v sedmdesátých a osmdesátých letech dvacátého století se zde vyskytuje celá řada lokalit vhodných pro reprezentativní odběr  $O_3$  (dostatečně rozsáhlých mýtin). Přítomnost vzrostlého a zapojeného porostu může totiž významně snížit měřenou koncentraci  $O_3$  v důsledku jeho depozice (Krzyzanowski 2004; Mikkelsen et al. 2000).

Cílem práce bylo zjistit, zda  $O_3$  jako jeden z faktorů oxidačního stresu poškozuje lesy v horských polohách a zda symptomy vyskytující se na smrku ztepilém *Picea abies* souvisejí s koncentracemi  $O_3$ . Poškození se zjišťovalo na úrovni makroskopické, mikroskopické a biochemické. Předpokládaly jsme, že s rostoucí nadmořskou výškou vzrůstají koncentrace přízemního  $O_3$  a také poškození jehlic smrku a že poškození je ovlivněno i expozicí lokality vůči světovým stranám vzhledem k tomu, že je zde rozdílná intenzita slunečního záření a délka trvání slunečního svitu. Příspěvek přehledně sumarizuje výsledky získané v rámci diplomové práce obhájené na Ústavu pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty UK v Praze (Bendáková 2011).

### Vysvětlivky pojmů

**Buněčné inkluze** – struktury v cytoplazmě složené buď z látek rezervních (glykogen, tuky, bílkoviny) nebo odpadních (minerální soli, pigmenty).

**Kumulace taninů** – taniny neboli třísloviny jsou látky obsažené v rostlinách, které sráží bílkoviny a alkaloidy a oxidací tmavnou a mění se v látky fyziologicky neúčinné. V případě vyššího poškození oxidativním stresem je na buňkách jehlic vidět tmavé zbarvení.

**Mastné kyseliny (MK)** – vyšší karboxylové kyseliny, ze kterých se skládají lipidy. Mastné kyseliny, které jsme zkoumali jsou obsažené ve fosfolipidech, které jsou stavebním kamenem buněčné membrány. Nasycené MK obsahují pouze jednoduché vazby, nenasycené MK obsahují minimálně jednu dvojnou vazbu. MK s krátkým řetězcem (short chain fatty acids, SCFA) mají méně než 6 atomů uhlíků, MK se středně dlouhým řetězcem (medium-chain fatty acids, MCFA) mají 6–12 atomů uhlíků, MK s dlouhým řetězcem (long-chain fatty acids, LCFA) mají 14–20 atomů uhlíků. Působením oxidativního stresu se mění poměry jednotlivých nasycených a nenasycených mastných kyselin, a tím je možné zhodnotit stupeň poškození.

**Mezofyl** – mezofylní pletivo je pod buňkami pokožky (epidermis) a hypodermis (mechanická opora jehlice). Mezofyl je fotosyntetizující pletivo, které vyplňuje jehlici, je tvořené tenkostěnnými laločnatými buňkami. V mezofylu vedou také pryskyřičné kanálky. Pod mezofylem následuje endodermis a dále cévní svazky.

**Plazmolýza** – jev, při kterém se buněčný obsah oddělí od buněčné stěny. Při působení oxidativního stresu a  $O_3$  jsou vidět různé stupně odtrženého buněčného obsahu.

## 2. METODIKA

V rámci prezentované studie byly měřeny koncentrace  $O_3$  v ovzduší. Jako indikátor poškození smrku ztepilého *Picea abies* byly sledovány vizuální symptomy poškození na jehlicích. Dále byla prováděna mikroskopická analýza anatomie příčných a podélných řezů jehlic a byly sledovány biochemické změny v jehlicích, konkrétně zastoupení nasycených a nenasyčených mastných kyselin.

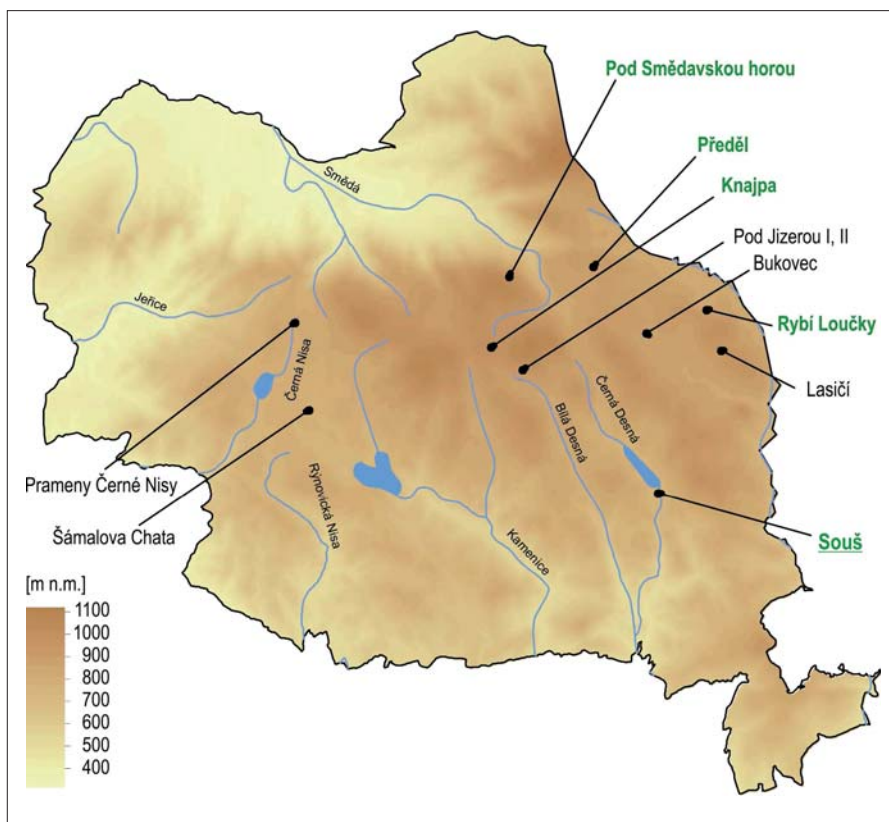
### 2.1 Měření koncentrací přízemního ozonu

Měření koncentrací  $O_3$  probíhalo na 11 lokalitách v chráněné krajinné oblasti Jizerské hory (obr. 1, tab. 1). Sledované lokality se nacházely v nadmořské výšce 760–1 003 m n. m. K měření koncentrací  $O_3$  byly použity difuzní dozimetry Ogawa, měřily se průměrné 14denní koncentrace, metodika je podrobně popsána a diskutována v článku (Hůnová 2006). Měření bylo navázáno na stanici automatizovaného imisního monitoringu ČHMÚ Souš (ve výšce 768 m n. m.) v blízkosti hráze stejnojmenné přehradní nádrže, kde se sledují koncentrace  $O_3$  metodou UV-absorbance v reálném čase a měří se i doprovodné meteorologické charakteristiky.

### 2.2 Hodnocení poškození jehličí vlivem oxidativního stresu

Na konci vegetační sezony, v listopadu 2009, bylo odebráno na každé lokalitě jehličí z pěti stromů, na každém stromě byly odebrány tři ročníky jehličí, z let 2009, 2007 a 2006. Jehličí bylo odbíráno z přibližně stejně starých jedinců (10–15 let, vysokých 2–3 m) ve výšce 2 m nad zemí, z osluněné části koruny. Část jehličí byla zmrazena, část uložena do fixačního činidla (Pazourková 1986).

Vizuální poškození bylo sledováno na základě analýzy výskytu chlorózu a nekrotizace. Odebrané jehlice byly naskenovány a jejich poškození bylo následně hodnoceno pomocí softwaru Ellipse (www.ellipse.sk), který umožňuje objektivní kvantifikaci poškození a často se používá v experimentální biologii pro kvantitativní popis anatomických a morfologických struktur. Do poměru byly dány



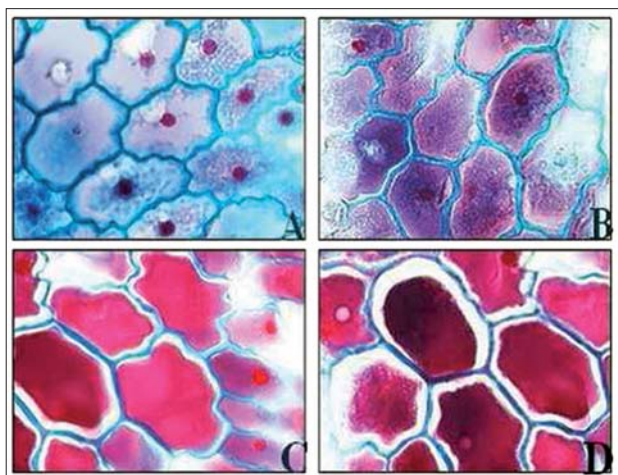
Obr. 1 Prostorové rozložení difuzních dozimetrů Ogawa pro měření koncentrací  $O_3$  v CHKO Jizerské hory. Mikroskopická a biochemická analýza vzorků smrkového jehličí byla provedena pro zeleně vyznačené lokality. Podtržením je vyznačena stanice automatizovaného imisního monitoringu Souš, na které se měří koncentrace  $O_3$  v reálném čase a na jejíž výsledky bylo navázáno měření difuzními dozimetry.

Fig. 1. Spatial distribution of Ogawa diffusive samplers for  $O_3$  concentration measurements in the Jizerské Hory Mts.; microscopic and biochemical analyses were carried out for the sites marked in green. At the Souš site, where  $O_3$  concentrations are measured in real time, the co-located measurements by real-time monitor and diffusive sampler were set up.

Tab. 1 Charakteristika měřicích lokalit v Jizerských horách řazených dle stoupající nadmořské výšky.

Table 1. Characteristics of sites in the Jizerské hory Mts., arranged by increasing altitude.

| Lokalita             | Souřadnice                    | Výška [m n.m.] | Charakteristika lokality                                                                                                             | Orientace svahu |
|----------------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Souš                 | N 50°47'226"<br>E 15°19'109"  | 768            | na hrázi vodní nádrže Souš, vzrostlé stromy, v bezprostřední blízkosti vede silnice                                                  | rovina          |
| Šámalova chata       | N 50°48'52,1"<br>E 15°09'294" | 776            | na louce v blízkosti vzrostlého lesa, je zde skupina stromů ve stáří asi 10 let                                                      | rovina          |
| Prameny Černé Nisy   | N 50°50'416"<br>E 15°09'110"  | 821            | rozsáhlý nezapojený porost mladých smrků, ve vzdálenosti 100 m je vzrostlý les, lokalita je mírně podmáčená, dobře exponovaná slunci | rovina          |
| Bukovec              | N 50°50'122"<br>E 15°21'077"  | 881            | na svahu čedičového útvaru Bukovec, vzrostlé smrky                                                                                   | západ           |
| Rybí loučky          | N 50°50'367"<br>E 15°20'324"  | 860            | na strmém svahu, silně podmáčená lokalita                                                                                            | sever           |
| Předěl               | N 50°51'375"<br>E 15°17'412"  | 912            | jižně orientovaná poloha, velmi exponovaná slunečnímu záření, mladý porost                                                           | jih             |
| Lasičí               | N 50°49'545"<br>E 15°20'563"  | 942            | na mírném svahu, podmáčená lokalita                                                                                                  | jih             |
| Pod Jizerou – mýtina | N 50°49'340"<br>E 15°15'255"  | 962            | na mírném svahu v blízkosti vzrostlého lesa, mladé stromy                                                                            | jih             |
| Pod Jizerou – les    | N 50°49'346"<br>E 15°15'259"  | 967            | na mírném svahu v blízkosti vzrostlého lesa, mladé zapojené stromy                                                                   | jih             |
| Knajpa               | N 50°49'576"<br>E 15°14'358"  | 988            | v blízkosti rašeliniště, vlhká lokalita                                                                                              | rovina          |
| Pod Smědavskou horou | N 50°51'210"<br>E 15°15'061"  | 1003           | nejvýše položená lokalita na mírném severním svahu Smědavské hory, nízký porost, nezapojený                                          | sever           |



Obr. 2 Stupnice pro hodnocení poškození příčných řezů na základě plazmolýzy buněk (A – poškození 0 – zdravé buňky, B – poškození stupeň 1, C – poškození stupeň 2, D – nejvyšší poškození – stupeň 3).

Fig. 2. Scale for injury evaluation used for cell plasmolysis (A – 0 injury, B – level 1 injury, C – level 2 injury, D – level 3 injury).

celkové plochy jehlic s plochou chlorózu a nekrózu, a bylo tak vyčísleno relativní poškození plochy jehlic v %. Hodnoceny byly vzorky ze všech 11 lokalit.

Pro mikroskopickou analýzu anatomie bylo nejdříve třeba připravit řezy jehlicemi. K analýze byly vybrány vzorky pouze z pěti lokalit, které se nejvíce lišily imisními koncentracemi  $O_3$  nebo nadmořskou výškou a u kterých jsme tedy očekávaly rozdílné poškození jehlic. Jednalo se o lokality Pod Smědavskou horou, Knajpa, Předěl, Rybí loučky a Souš (obr. 1). Při přípravě řezů byla využita metodika botanické mikrotechniky (Pazourková 1986). Jehlice byly nejprve zafixované v roztoku FAA (formol-alkohol-octová fixáž), aby došlo k okamžitému usmrcení pletiv. Následovalo odvodnění, prosycení parafínem a zalití do parafinového bločku s cílem získat mikrotomem řezy o tloušťce 15  $\mu m$ . Tímto způsobem byly připraveny podélné i příčné řezy. Ty byly skládány na sklíčko, usušeny, následně odparafinovány, zavodněny a obarveny safraninem a anilínovou modří (Pazourková 1986).

Na příčných řezech bylo sledováno několik charakteristik poškození ozonem, a to kumulace taninů v buňce, plazmolýza buněk, dezintegrace chloroplastů a celého buněčného obsahu a výskyt buněčných inkluzí (tuků či izoprenoidů). Každý symptom byl hodnocen samostatně pomocí předem vytvořené stupnice používané na katedře experimentální biologie rostlin PřF UK. Stupnice byla modifikována tak, aby lépe odpovídala naší konkrétní studii. Stupnice zahrnovala stupně poškození čtyř kategorií, od 0 do 3, kdy stupeň 0 charakterizoval nulové poškození, stupeň 1 poškození do 25 % buněk, stupeň 2 poškození 25–50 % buněk a stupeň 3 poškození nad 50 % buněk podle jednotlivých symptomů. Při hodnocení bylo dále přihlíženo k tomu, zda je poškození více patrné pouze u průduchů, či v celém řezu až k cévním svazkům. Obr. 2 ukazuje jako příklad stupnici pro hodnocení stupně plazmolýzy buněk.

U podélných řezů byl hodnocen stejný počet vzorků. Vzhledem k podélné orientaci tento druh řezu poskytl odlišný pohled na mezofylové buňky (Zapletal et al. 2012). Metoda byla založena na sledování výskytu deformovaných buněk připomínajících svým tvarem kost, tzv. kostovitých buněk,

bone cells (Krpeš 2002, Krpeš, Michna 2010). Tento tvar buněk vznikl jako důsledek působení  $O_3$  a oxidativního stresu, jejichž vlivem došlo ke smrštění buněčné stěny i buněčného obsahu. Buňka se smršťuje ve své šířce, přičemž délka zůstává stejná. V tomto případě odpovídal stupeň 0 žádnému poškození, stupeň 1 poškození pouze nepatrného množství buněk, stupeň 2 viditelnému poškození buněk v substomatálním prostoru a u pokožky, stupeň 3 poškození naprosté většiny buněk v celém mezofylu (Zapletal et al. 2012).

Pro analýzu fosfolipidických mastných kyselin byl vzorek jehličí umlet v mlýnku a homogenizován. Následovala extrakce všech lipidů s následným oddělením frakce fosfolipidů, transesterifikací a změřením na plynovém chromatografu (Řezanka et al. 1983). Byla sledována přítomnost mastných kyselin (MK) v membránových fosfolipidech, a to kyselin od 14:0 (14 značí počet atomů uhlíku, 0 počet dvojných vazeb) do 22:0 a byl sledován jejich poměr. Zjišťoval se obsah 18:1 a MK s krátkým řetězcem (do šesti atomů uhlíku), dále poměr 18:3 / 18:2, (18 nenasyčené) / (18:0+16:0) a 18:2 / 18:1. Tyto poměry byly poté porovnávány s imisními koncentracemi  $O_3$ .

Pro statistické zpracování dat bylo využito softwaru R (verze 2.8.1.) a SPSS. Byla provedena analýza rozptylu jednoduchého třídění (ANOVA), aby bylo zjištěno, zda jsou mezi skupinami významné rozdíly. Na zpracování dat z podélných a příčných řezů byl využit Kendallův korelační koeficient, označovaný jako  $\tau$ , vhodný pro statistické zpracování nestandardních dat kategoricky uspořádaných veličin. Pomocí něj byla zjišťována asociace mezi nadmořskou výškou lokality, koncentrací  $O_3$  a poškozením jehlic. Pro hodnocení závislosti vizuálního poškození jehličí na koncentracích  $O_3$  a poměru nasycených a nenasyčených mastných kyselin na koncentracích  $O_3$  bylo využito metody lineární regrese. Uvažovaná hladina významnosti byla  $p < 0,05$ .

### 3. VÝSLEDKY

#### 3.1 Vizuální poškození

U jehlic z prvního ročníku (2009) nebylo zjištěno žádné vizuální poškození, proto byly jehlice z analýzy vyřazeny a dále byly hodnoceny pouze jehlice třetího (2007) a čtvrtého (2006) ročníku. Na jehličí z ročníků 2006 a 2007 byly zřetelné chlorózy i nekrózy (obr. 3). V roce 2006 bylo zjištěno nejvyšší poškození (tab. 2) na lokalitě Předěl (9,4 % plochy jehlic), dále na lokalitě Prameny Černé Nisy (6,9 %), lokalitě Knajpa (6,4 %) a Pod Smědavskou horou (6,1 %). Nejméně byly poškozeny smrky na lokalitě Souš (1,4 %). Ročník 2007 vykazoval nejvyšší poškození na lokalitě Předěl (9,5 % plochy jehlic), následovaly lokality Pod Smědavskou horou (6,5 %), Knajpa (6,4 %) a Souš (4,4 %). V tomto roce bylo nejnižší poškození viditelné na lokalitách Šámalova chaty (3,2 %) a Rybí loučky (2,5 %).



Obr. 3 Vizuální poškození smrkového jehličí (foto Hana Bendáková).

Fig. 3. Visual injury on spruce needles (Photo Hana Bendáková).

Obr. 4 znázorňuje lineární regresi vizuálního poškození a průměrných koncentrací  $O_3$  za období vegetační sezony 2006 (obr. 4a) a 2007 (obr. 4b). Na obou grafech se výrazně vymyká bod charakterizující poškození jehličí na lokalitě Předěl (zvýrazněno kroužkem). Pokud ze statistické analýzy vyloučíme tuto extrémní hodnotu nadprůměrně zatíženého stanoviště, je závislost vizuálního poškození na koncentracích  $O_3$  mnohem průkaznější (koeficient determinace  $R^2$  pro rok 2006 se zvýší na 0,53,  $R^2$  pro rok 2007 pak na 0,69).

### 3.2 Mikroskopické poškození

#### 3.2.1 Příčné řezy

Na příčných řezech bylo dobře vidět několik symptomů, a to kumulaci taninů, plazmolýzu buněk (obr. 2), dezintegraci chloroplastů a buněčné inkluze (tuky a izoprenoidy). U ročníku 2006 bylo zaznamenáno nejvyšší poškození na lokalitě Předěl, kde byla jasně patrná kumulace taninů (stupeň 3), plazmolýza (stupeň 3) i dezintegrace chloroplastů. Tato lokalita vykazovala nejvyšší poškození i v roce 2007, a to především v případě plazmolýzy a kumulace taninů. V obou letech bylo tedy nejvyšší poškození zaznamenáno na téže lokalitě. Druhou nejvíce poškozenou byla lokalita Knajpa. Nejmenší poškození v obou letech ukazovala lokalita Rybí loučky situovaná na strmém severním svahu. Lokalita Pod Smědavskou horou vykazovala v obou letech spíše nižší poškození.

#### 3.2.2. Podélné řezy

Na podélných řezech jehlicemi bylo zřetelné poškození na některých lokalitách. Kostovité buňky byly někde pozorovány v celém mezofylu, jinde pouze u průduchů a na někte-

řích lokalitách se neukázalo žádné poškození. Mezi lokalitami byly zřetelné rozdíly.

V roce 2006 byla nejvíce poškozená lokalita Předěl, u které se vyskytovaly kostovité buňky v celém mezofylu až k cévním svazkům (stupeň 3), jak je zřejmé z obr. 5. Následovala lokalita Pod Smědavskou horou, kde byly buňky poškozené v blízkosti epidermis a průduchů (stupeň 2) a dále lokalita Knajpa (obr. 6). Lokality Souš (obr. 7) a Rybí loučky (obr. 8) vykazovaly minimální poškození (stupeň 0).

Ročník 2007 vykazoval vyšší poškození než ročník předchozí. Nejvíce kostovitých buněk bylo pozorováno opět na lokalitě Předěl, následovala lokalita Knajpa, Pod Smědavskou horou, Rybí loučky a Souš.

#### 3.2.3. Statistická analýza výsledků příčných a podélných řezů

Analýza rozptylu prokázala rozdíly mezi lokalitami u podélných řezů v roce 2006 i 2007, u příčných řezů byly rozdíly mezi lokalitami prokázány pouze v případě kumulace taninů v r. 2006 a plazmolýzy v r. 2007.

V roce 2006 byla prokázána korelace nadmořské výšky a poškození u podélných řezů (korelace statisticky významná  $p < 0,01$ ,  $\tau = 0,38$ ). Statisticky významná korelace koncentrací  $O_3$  a poškození byla nalezena v případě podélných řezů ( $p < 0,05$ ,  $\tau = 0,30$ ) a plazmolýzy ( $p < 0,05$ ,  $\tau = 0,15$ ). Co se týká souvislosti s vizuálním poškozením, byla prokázána statisticky významná korelace v případě poškození podélných řezů ( $\tau = 0,62$ ), plazmolýzy ( $\tau = 0,50$ ), kumulace taninů ( $\tau = 0,39$ ) a dezintegrace chloroplastů ( $\tau = 0,30$ ).

V roce 2007 byla prokázána významná korelace nadmořské výšky a poškození u podélných řezů ( $p < 0,05$ ,  $\tau = 0,34$ ) a u plazmolýzy ( $p < 0,05$ ,  $\tau = 0,41$ ). Statisticky významná korelace ( $p < 0,05$ ) koncentrací  $O_3$  a poškození byla nalezena v případě podélných řezů ( $\tau = 0,26$ ) a plazmolýzy ( $\tau = 0,40$ ). Co se týká souvislosti s vizuálním poškozením, byla prokázána statisticky významná silná korelace v případě poškození podélných řezů ( $\tau = 0,66$ ), plazmolýzy ( $\tau = 0,67$ ), kumulace taninů ( $\tau = 0,32$ ).

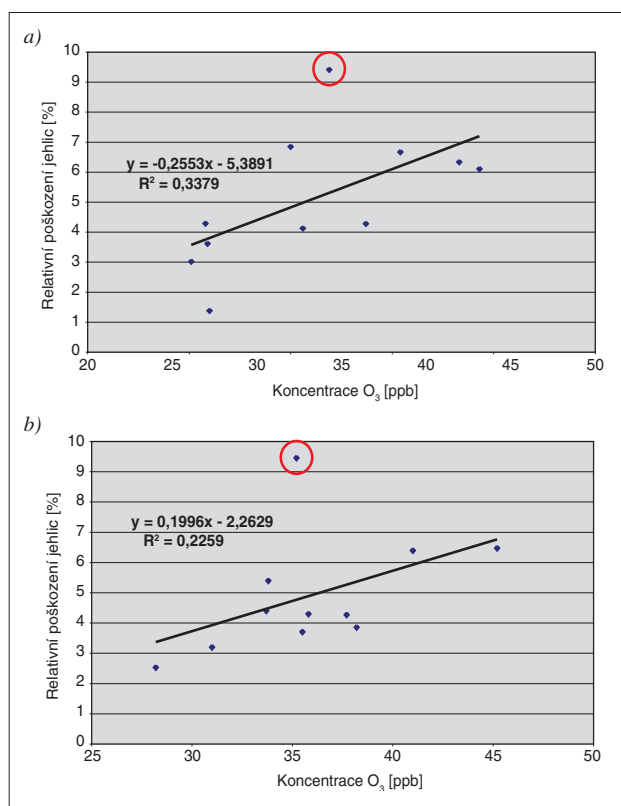
Byla zjištěna korelace všech typů poškození, tedy tam, kde bylo dobře patrné vizuální poškození, byla v buňkách zřetelná plazmolýza a kumulace taninů a též nejvyšší výskyt kostovitých buněk v celém mezofylu.

### 3.3 Obsah mastných kyselin

Na základě biochemické analýzy byl zjištěn pokles poměru nenasycených mastných kyselin k nasyceným s rostoucími koncentracemi  $O_3$ . Dále s rostoucími koncentracemi  $O_3$  vzrostl i obsah následujících mastných kyselin: 14:0, 14:2, 16:0, 16:2, poklesl obsah mastné kyseliny 18:1 a poklesl poměr MK 18:3 / 18:2 (obr. 9). Vzrostl poměr 18:2 / 18:1. Všechny trendy vzrůstu či poklesu však byly velmi malé a statisticky neprůkazné.

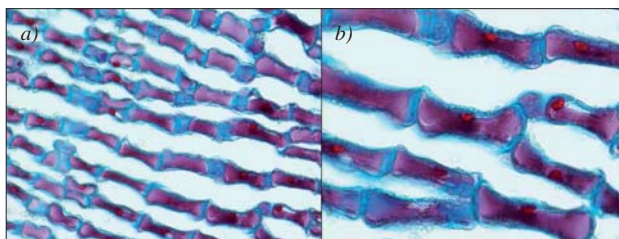
### 3.4 Hodnocení celkového poškození

Všechny parametry poškození byly nakonec pro přehlednost shrnuty do jediné tabulky (tab. 2). Z ní je jasně patrné, že v obou vegetačních sezonách bylo největší poškození ve všech sledovaných aspektech zaznamenáno na lokalitě Předěl. Pokud jsou ty lokality, na kterých se sledovaly různé aspekty poškození, vyhodnoceny podle pořadí (tab. 3), je zřejmé, že v obou hodnocených vegetačních sezonách bylo nejméně poškozené jehličí na lokalitě Rybí loučky, následovně lokalitami Souš, Pod Smědavskou horou, Knajpa a Předěl.



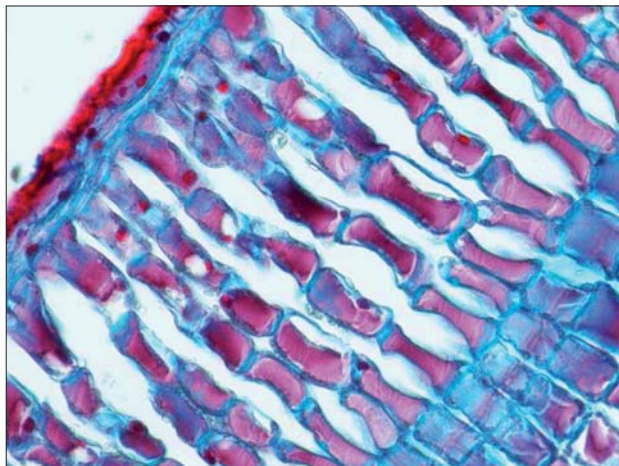
Obr. 4 Závislost vizuálního poškození smrkových jehlic na koncentracích  $O_3$ : a) vegetační sezona 2006, b) vegetační sezona 2007.

Fig. 4.  $O_3$  impact on macroscopic changes in Norway spruce needles: a) 2006 vegetation season, b) 2007 vegetation season.



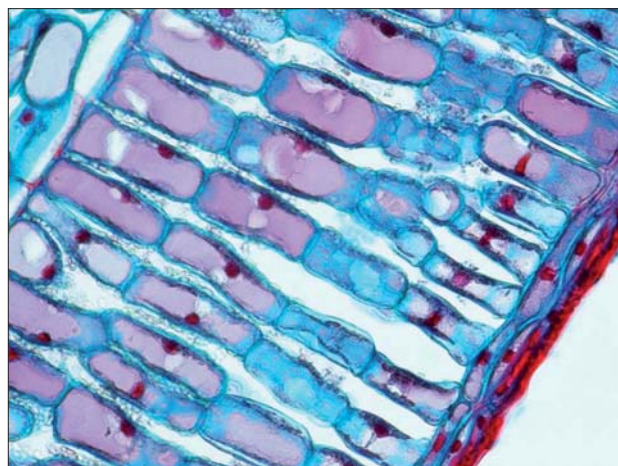
Obr. 5 Lokalita Předěl – mikroskopická analýza jehlic ukazuje nejvyšší poškození (stupeň 3), kostovité buňky jsou vyvinuty v celém mezofylu: a) zvětšeno 200 ×, b) zvětšeno 400 ×.

Fig. 5. Předěl site – microscopic analysis indicates high needle injury (level 3), bone cells are found throughout the entire mesophyll, a) 200× magnification, b) 400× magnification.



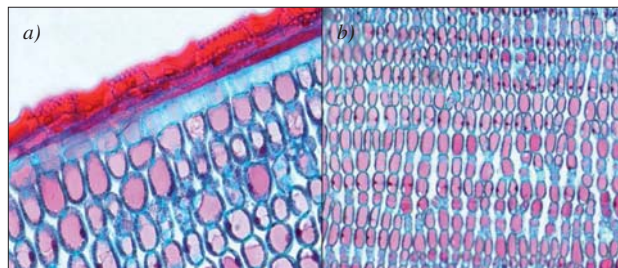
Obr. 6 Lokalita Knajpa – mikroskopická analýza jehlic ukazuje poškození stupně 2, kostovité buňky jsou vyvinuty na velké části mezofylu: zvětšeno 200×.

Fig. 6. Knajpa site – microscopic analysis with higher degree injury (level 2), bone cells are developed across a major part of the mesophyll. 200× magnification.



Obr. 7 Lokalita Souš – mikroskopická analýza jehlic ukazuje nižší stupeň poškození, kostovité buňky jsou patrné pouze v blízkosti průduchů: zvětšeno 200×.

Fig. 7. Souš site – microscopic analysis shows little needle injury, bone cells are present only near the stomata. 200 × magnification.



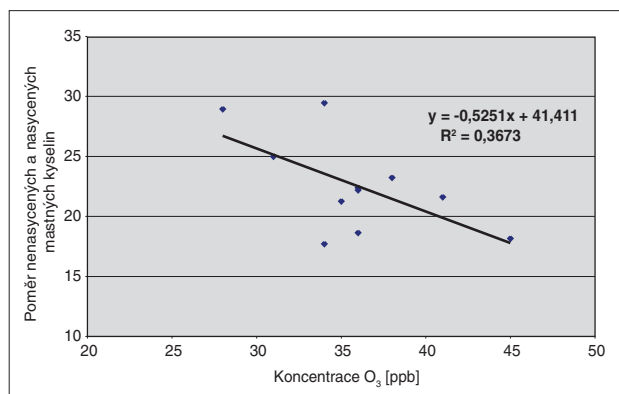
Obr. 8 Lokalita Rybí loučky – z mikroskopické analýzy jehlic není patrné žádné poškození ani v oblasti průduchů, zvětšeno 200× (a) ani v mezofylu, zvětšeno 100× (b).

Fig. 8. Rybí Loučky site – there is no injury visible, not even close to the stomata. 200× magnification (a), no injury in mesophyll cells, 100× magnification (b).

Tab. 2 Poškození jehličí na jednotlivých lokalitách podle všech sledovaných parametrů.

Table 2. Needle injury recorded at individual sites according to observed parameters.

| Lokalita             | Nadmořská výška<br>[m n. m.] | 2006                                |                           |                              |                          |            |         |                           | 2007                                |                           |                              |                          |            |         |                           |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|------------|---------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|------------|---------|---------------------------|
|                      |                              | Koncentrace O <sub>3</sub><br>[ppb] | Vizuální poškození<br>[%] | Podélné řezy<br>(stupeň 0–3) | Příčné řezy (stupeň 0–3) |            |         |                           | Koncentrace O <sub>3</sub><br>[ppb] | Vizuální poškození<br>[%] | Podélné řezy<br>(stupeň 0–3) | Příčné řezy (stupeň 0–3) |            |         |                           |
|                      |                              |                                     |                           |                              | Kumulace taninů          | Plazmolýza | Inkluze | Desintegrace chloroplastů |                                     |                           |                              | Kumulace taninů          | Plazmolýza | Inkluze | Desintegrace chloroplastů |
| Souš                 | 768                          | 36                                  | 1,4                       | 0,2                          | 0,9                      | 0,2        | 0,9     | 0,2                       | 34                                  | 4,4                       | 0,5                          | 1,3                      | 0          | 0,9     | 2,1                       |
| Šámalova chata       | 776                          | 36                                  | 4,3                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         | 31                                  | 3,2                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         |
| Prameny Černé Nisy   | 821                          | 40                                  | 6,9                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         | 34                                  | 5,4                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         |
| Rybí loučky          | 860                          | 35                                  | 3,0                       | 0,3                          | 0,8                      | 0,1        | 0,3     | 0,1                       | 28                                  | 2,5                       | 1,0                          | 1,2                      | 0,03       | 0,5     | 1,7                       |
| Předěl               | 910                          | 42                                  | 9,4                       | 2,7                          | 2,4                      | 1,4        | 0,8     | 1,4                       | 35                                  | 9,5                       | 2,8                          | 2,0                      | 1,2        | 1,0     | 2,4                       |
| Bukovec              | 881                          | 36                                  | 3,6                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         | 38                                  | 4,3                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         |
| Lasičí               | 942                          | 44                                  | 4,3                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         | 36                                  | 3,7                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         |
| Pod Jizerou mýtina   | 962                          | 46                                  | 4,1                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         | 38                                  | 3,9                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         |
| Pod Jizerou – les    | 967                          | 41                                  | 6,7                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         | 36                                  | 4,3                       | –                            | –                        | –          | –       | –                         |
| Knajpa               | 988                          | 48                                  | 6,3                       | 0,9                          | 1,2                      | 1,0        | 0,6     | 0,9                       | 41                                  | 6,4                       | 2,4                          | 1,3                      | 1,3        | 0,4     | 1,3                       |
| Pod Smědavskou horou | 1003                         | 49                                  | 6,1                       | 1,3                          | 0,6                      | 0,4        | 0,1     | 0,4                       | 45                                  | 6,5                       | 1,6                          | 1,3                      | 0,5        | 1,1     | 1,1                       |



Obr. 9 Závislost poměru nenasycených a nasycených mastných kyselin na koncentraci  $O_3$ .

Fig. 9. Saturated / unsaturated fatty acids ratio related to  $O_3$  concentration.

#### 4. DISKUSE

Přestože se v posledních letech podařilo významně snížit maximální koncentrace  $O_3$  v důsledku snížení emisí prekurzorů  $NO_x$  a VOC v Evropě, zůstávají imisní koncentrace  $O_3$  stále vysoké a často překračují stanovené imisní limity (EEA 2011). Koncentrace  $O_3$  na českých regionálních stanicích dosahují hodnot, které negativně ovlivňují lidské zdraví i stav vegetace (Hůnová, Coňková 2009; Hůnová, Schreiberová 2012). Největší úroveň zatížení  $O_3$  je paradoxně v oblastech, které jsou z hlediska znečištění ostatními znečišťujícími látkami v ovzduší pokládány za oblasti nejčistší (Hůnová 2001), tedy v oblastech vzdálených od emisních zdrojů a položených ve vyšších nadmořských výškách, příp. v tzv. závětrí velkých měst, tedy přibližně 20–30 km od městských aglomerací ve směru převládajícího proudění (Finnlayson-Pitts, Pitts 2000).

Určitým omezením naší studie je fakt, že bylo srovnáváno poškození s imisními koncentracemi  $O_3$  a nikoliv s vnitřní dávkou, která se dostává do rostlin tzv. stomatálním tokem (Matoušková, Hůnová 2013). Ten je v současné době odbornou veřejností všeobecně přijímán jako lepší indikátor rizika pro poškození než venkovní koncentrace (Matyssek et al. 2007), nicméně jeho výpočet je relativně komplikovaný a náročný na vstupní data, protože pro korektní výpočet je potřeba měřit celou řadu environmentálních parametrů charakterizujících stanoviště (Matoušková, Hůnová 2013). Na základě předchozích výsledků publikovaných pro Jizerské hory je ovšem možné se domnívat, že půdní i atmosférická vlhkost je v horských smřčinách Jizerských hor zpravidla dostatečná, stomatální tok tedy nebývá omezen a imisní koncentrace  $O_3$  mohou být pokládány za relativně vhodný indikátor rizika poškození (Hůnová et al. 2011).

Vzhledem k tomu, že poškození v podmínkách přirozených porostů je vždy důsledkem působení celé řady stresových faktorů, přirozených i antropogenních, biotických a abiotických, je na rozdíl od experimentů za řízených podmínek velmi obtížné vymezit poškození způsobené pouze jedním z nich. Proto bylo naší snahou provést více různých druhů analýz, které by se navzájem doplnily a podaly by tak lepší obraz o možném působení  $O_3$  na smrk, jako na dřevinu nejvíce zastoupenou v našich lesích.

##### 4.1 Makroskopické poškození

Charakteristické chlorotické skvrny na asimilačním aparátu dřevin se objevují při vysokých koncentracích  $O_3$  a expo-

Tab. 3 Pořadí lokalit podle celkového poškození jehličí (se zahrnutím všech sledovaných parametrů).

Table 3. Sites ranked according to overall needle injury (all parameters included).

| Nadmořská výška<br>[m n. m.] | Lokalita                | 2006                          |                           | 2007                          |                           |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                              |                         | Koncentrace<br>$O_3$<br>[ppb] | Pořadí podle<br>poškození | Koncentrace<br>$O_3$<br>[ppb] | Pořadí podle<br>poškození |
| 768                          | Souš                    | 36                            | 2.                        | 34                            | 2.                        |
| 860                          | Rybí loučky             | 35                            | 1.                        | 28                            | 1.                        |
| 910                          | Předěl                  | 42                            | 5.                        | 35                            | 5.                        |
| 988                          | Knajpa                  | 48                            | 4.                        | 41                            | 4.                        |
| 1003                         | Pod horou<br>Smědavskou | 49                            | 3.                        | 45                            | 3.                        |

Poznámka: Pořadí podle poškození – stanice řazeny od nejméně poškozené (1.) po nejvíce poškozenou (5.)

zici slunečnímu záření (Uhlířová, Kapitola 2004). Poškození rostlin  $O_3$  je ovlivněno ve velké míře jeho příjmem průduchy. Ten bývá 3–5krát vyšší ve vyšších nadmořských výškách (Nunn et al. 2007). Očekávaly jsme tedy nárůst makroskopického poškození se vzrůstající nadmořskou výškou, což se ovšem potvrdilo pouze částečně. Obecně lze říci, že na jehličí bylo v obou vegetačních sezonách pozorováno zvyšující se poškození s rostoucí nadmořskou výškou, z tohoto obrazu se však několik lokalit poněkud vymykalo (obr. 4, tab. 2). Větší poškození, než by odpovídalo očekávání, bylo pozorováno na lokalitách více exponovaných slunečnímu záření či podmáčených. Největší poškození vykazovala v obou letech lokalita Předěl, která sice leží vzhledem k ostatním měřicím lokalitám pouze ve střední nadmořské výšce (912 m n. m., z rozmezí 768–1 003 m. n. m.), je však silně exponovaná slunečnímu záření. V roce 2006 byl vysoký stupeň poškození nalezen i na lokalitě Pod Jizerou, což lze vysvětlovat její nadmořskou výškou (967 m n. m.) a jižní orientací svahu. Velké procento poškození bylo nalezeno také na lokalitě Prameny Černé Nisy, která leží sice v nižší nadmořské výšce (821 m n. m.), ale výrazné podmáčení může způsobit lepší otevření průduchů a umožnit tedy vyšší příjem  $O_3$ . Naproti tomu lokalita Rybí Loučky, situovaná na strmém severním svahu, s výrazně nižšími koncentracemi  $O_3$ , než by odpovídalo její nadmořské výšce (860 m n. m.), vykazovala jen velmi malé poškození.

Vizuální poškození se zjišťuje kvantifikací skvrn na jehlicích a je patrné na jehlicích dvouletých a starších (Soda et al. 2000), při vysokých koncentracích  $O_3$  (nad 100 ppb) se pak projevují poškození i na nejmladším ročníku jehlic (Hartman et al. 2001). Tento symptom se pokládá za kumulativní (Sanz et al. 2000). U nejmladšího ročníku jehlic (2009) jsme žádné poškození nepozorovali, což odpovídá tomu, že tak vysoké koncentrace  $O_3$ , které udává Hartman et al. (2001), na námi sledovaných lokalitách pozorovány nebyly. Co se týká srovnání jehličí z obou sledovaných ročníků, tedy třetího a čtvrtého ročníku z vegetačních sezon 2006 a 2007, není možné jednoznačně konstatovat, že by jehličí starší bylo na všech lokalitách více poškozené. Čtvrtý ročník jehličí byl v porovnání s třetím mírně více poškozen na 6 lokalitách, u zbývajících 5 lokalit tomu bylo naopak.

Obdobná vizuální poškození způsobená ozonem, která jsme sledovaly na jehlicích smrku, byla potvrzena na jehlicích jiných druhů jehličnatých dřevin i v jiných regionech,

např. na borovici *Pinus halepensis* ve Španělsku (Sanz et al. 2000), či na borovicích *Pinus ponderosa* a *Pinus jeffreyi* v USA (Arbaugh et al. 1998). Vizualní symptomy vyvolané působením  $O_3$  nejsou zcela jednoznačné a v porostech rostoucích v přirozených podmínkách je možné je zaměnit se symptomy vyvolanými působením jiných faktorů. Jako příklad je možné uvést nedostatek manganu a železa – v tomto případě se však symptomy objevují především ve spodní části koruny a u nejmladšího ročníku. Další záměna může nastat při poškození houbovými infekcemi, které však působí žloutnutí především u nejmladšího ročníku, příp. tvoří zlatošedý povlak. Podobné jsou i projevy sání svilušek, ty se však vyskytují na spodní straně jehlic. Aby bylo možno symptomy jasně odlišit, je nutné provést další analýzy (Hartman et al. 2001; Novotný et al. 2009; Uhlířová, Kapitola 2004). Proto byly kromě hodnocení vizuálních symptomů provedeny i podpůrné mikroskopické a biochemické analýzy.

#### 4.2 Mikroskopické poškození

Na příčných řezech z pěti vybraných lokalit byly jasně vidět rozdíly v poškození buněk, a to zejména u kumulace taninů a plazmolýzy. Tyto symptomy se ukázaly jako průkazné, zatímco další dva sledované symptomy (dezintegraci chloroplastů a vznik buněčných inkluzí) se prokázat nepodařilo. To mohlo být způsobeno jinými faktory, které nebyly brány v potaz, jako např. půdní a vzdušná vlhkost, teplota, atd. Ve většině případů spolu jednotlivé druhy poškození korelovaly. Nejvíce symptomů vykazovala v obou letech lokalita Předěl, dále následovaly lokality Knajpa a Pod Smědavskou horou (v obou sledovaných letech v opačném pořadí).

Na podélných řezech bylo zjištěno poškození korelující s nadmořskou výškou i zvýšenými koncentracemi  $O_3$ . Zejména na lokalitě Předěl byla poškozena většina buněk a některé z nich nevratně. Lokalita Pod Smědavskou horou vykazovala jen částečné poškození a na lokalitě Rybí loučky se poškození vlivem  $O_3$  neukázalo vůbec. Tento typ poškození  $O_3$  se ukázal jako vůbec nejprůkaznější, poškození bylo jasně viditelné a rozlišitelné a také statisticky byla prokázána korelace s imisními koncentracemi  $O_3$ . Obdobná poškození, tedy kostovitá deformace buněk, byla pozorována v ČR v oblasti Lysé hory a Bílého Kříže v Beskydech (Krpeš, Michna 2010; Zapletal et al. 2012), kde však výsledky provedených mikroskopických analýz nasvědčovaly mnohem většímu poškození, než bylo pozorováno v oblasti Jizerských hor.

#### 4.3 Mastné kyseliny

Přestože informace o složení či obsahu mastných kyselin může být užitečným biomarkerem působení  $O_3$  (Anttonen et al. 1995), publikací, které se zabývají vlivem  $O_3$  na obsah mastných kyselin u dřevin, lze nalézt v odborných databázích jen velmi málo. V odezvě na působení  $O_3$  byla pozorována značná variabilita mezi různými druhy dřevin. Carlsson et al. (1990) pozorovali zvýšení saturace mastných kyselin v jehličí smrku při dlouhodobém působení  $O_3$ , Fangmeier et al. (1990) pak u borovice. Rozdíly v poměru nenasyčených a nasycených mastných kyselin pozorovali i Wulff et al. (1996), na rozdíl od našich výsledků však byly tyto rozdíly statisticky významné. Redukce nenasyčených mastných kyselin nastávala především při vyšších koncentracích  $O_3$  (Kyburz et al. 1991), které jsou ovšem spíše předmětem experimentů, zatímco v reálných podmínkách přirozených porostů bývají koncentrace  $O_3$  zpravidla nižší. To, že se nám nepodařilo prokázat statisticky významnou závislost na koncentracích  $O_3$ , bylo s největší pravděpodobností způsobeno příliš

malým souborem dat. Z praktických důvodů, daných pracovní kapacitou, bylo analyzováno pouze šest vzorků na lokalitě. Při takto malém množství vzorků je pravděpodobné, že se rozdíly nemusí projevit, i kdyby byly významné.

#### 5. ZÁVĚR

V Jizerských horách jsou imisní koncentrace  $O_3$  natolik vysoké, že mohou působit poškození i u méně citlivých druhů dřevin, jak se prokázalo v naší studii zaměřené na sledování smrku ztepilého (*Picea abies*). Studované indikátory poškození rostly se vzrůstajícími koncentracemi  $O_3$  a s rostoucí nadmořskou výškou, statisticky významná závislost však byla prokázána pouze v některých případech. Z tohoto obrázku se vymyká lokalita Předěl, kde bylo zjištěno nejvyšší poškození jehličí ve všech sledovaných ukazatelích v obou studovaných vegetačních sezonách, ačkoliv zde nebyly změřeny nejvyšší koncentrace  $O_3$ . Domníváme se, že na vyšším poškození se na této lokalitě podílelo intenzivní sluneční záření, nicméně naše domněnka je pouhou spekulací, a vysvětlení tohoto zjištění by si vyžadovalo mnohem důkladnější analýzy a sledování i environmentálních faktorů, které ovlivňují stomatální tok.

Pro sledování a objektivní kvantifikaci poškození dřevin je vhodné využít metod mikroskopické a biochemické analýzy. Bez těchto metod není možné spolehlivě určit, že vizuální poškození bylo způsobeno skutečně imisními koncentracemi  $O_3$ . Nejlépe bylo možné sledovat poškození při mikroskopické analýze podélných řezů jehlic. Buňky byly zúžené ve své šířce a měly typický kostovitý tvar. Na příčných řezech byla nalezena statisticky významná korelace kumulace taninů a plazmolýzy s koncentracemi  $O_3$  a nadmořskou výškou. Na rozdíl od výsledků analýz podélných řezů, bylo poškození u řezů příčných méně výrazné a lokality se mezi sebou lišily méně. Analýza fosfolipidických mastných kyselin z buněčných membrán ukázala pokles množství nenasyčených mastných kyselin, nárůst množství nasycených mastných kyselin a mastných kyselin s krátkým řetězcem. Nebyla však prokázána statisticky významná závislost, pravděpodobně v důsledku malého množství vzorků.

Problematika zvýšených koncentrací  $O_3$  a působení oxidativního stresu na lesy se v současné době stává stále významnější na celé severní polokouli. I malý nárůst koncentrací  $O_3$  může negativně ovlivnit rostliny. Avšak jak je vidět z prezentovaných výsledků, je třeba rozsáhlejšího výzkumu, aby mohl být vliv jasně prokázán. Je proto žádoucí se v budoucím výzkumu zaměřit na stomatální tok a na podrobnější zkoumání environmentálních podmínek jednotlivých lokalit, zejména na meteorologických a půdních charakteristik. U sledování poškození je pak vhodné využít širšího spektra metod, které se svými výsledky mohou vhodně doplňovat.

#### Poděkování

Velké poděkování patří Prof. RNDr. Janě Albrechtové, Ph.D. a Doc. RNDr. Zuzaně Lhotákové, Ph.D. z katedry experimentální biologie rostlin Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze za cenné konzultace a pomoc při zpracování a mikroskopické analýze vzorků smrkového jehličí a dále Doc. RNDr. Tomáši Cajthamlovi, Ph.D. z Laboratoře environmentální technologie Mikrobiologického ústavu AV ČR, v. v. i. za konzultace a pomoc při analýze mastných kyselin. Ing. Aleně Kulasové z VÚV děkujeme za výměny filtrů pasivních dozimetřů a zajištění kvalitních odběrů vzorků ovzduší, laboratoři Pobočky ČHMÚ v Ostravě za precizní analýzu nitrátů plynovou chromatografií a Ing. Janě Ostatnické za přípravu obrázků. Měření ozonu

difuzními dozimetry bylo částečně podpořeno z grantu VaV MŽP SP/1b7/189/07 Snížení plnění celospolečenských funkcí lesa vlivem potenciálního působení přízemního ozonu v kontextu klimatické změny. V neposlední řadě pak poděkování patří i recenzentce za řadu podnětů, které významně zvýšily kvalitu příspěvku.

#### Literatura:

- ANTTONEN, S., HERRANEN, J., PEURA, P., KÄREN-LAMPI, L., 1995. Fatty acids and ultrastructure of ozone exposed Aleppo pine needles. *Environmental Pollution* **87**, s. 235–242. ISSN 0269-7491.
- ARBAUGH, M. J., MILLER, P. R., CARROLL, J. J., TAKEMOTO, B., PROCTER, T., 1998. Relationship of ozone exposure to pine injury in the Sierra Nevada and San Bernardino Mountains of California, USA. *Environmental Pollution* **101**, s. 291–301. ISSN 0269-7491.
- ASHMORE, M. R., 2002. Effects of oxidants at the whole plant and community level. In: Bell, J. B., Treshow, M. eds.: *Air Pollution and Plant Life*. 2. vyd. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 465 s. ISBN 0-471-49091-1.
- BAIER, M., KANDBINDER, A., GOLLDACK, D., DIETZ, K.-J., 2005. Oxidative stress and ozone: perception, signalling and response. *Plant, Cell and Environment* **28**, s. 1012–1020.
- BEDNÁŘOVÁ, E., TRUPAROVÁ, S., 2009. Elevated concentrations of ground-level ozone causing a damage of assimilation apparatus of forest woody species. *Beskydy* **2**, s. 119–124.
- BENDÁKOVÁ, H., 2011. Přízemní ozon jako jeden z faktorů oxidativního stresu v podmínkách horských lesů, Diplomová práce, 70 s.
- BRODIN, M., HELMIG, D., OLTMANS, S., 2010. Seasonal ozone behavior along an elevation gradient in the Colorado Front Range Mountains. *Atmospheric Environment* **44**, s. 5305–5315. ISSN 1352-2310.
- CARLSSON, A., SANDELIUS, A.-S., SELDÉN, G., 1990. Exposure of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst to ozone in open-top chambers. Effects on membrane lipid acyl composition in needles during the winter season. *Physiologia Plantarum* **79**, A124.
- DIZENGREMEL, P., 2001. Effects of ozone on the carbon metabolism of the forest trees. *Plant Physiology and Biochemistry* **39**, s. 729–742.
- EEA, 2011. Air quality in Europe – 2011 report. Technical report No. 12/2011. Copenhagen, 84 s.
- EKEBERG, D., JABLONSKA A. M., OGNER, G., 1995. Phytol as a possible indicator of ozone stress by *Picea abies*. *Environmental Pollution* **89**, s. 55–58. ISSN 0269-7491.
- FANGMEIER, A., KRESS, L. W., LEPPER, P., HECK, W. W., 1990. Ozone effects on the fatty acid composition of loblolly pine needles (*Pinus taeda* L.). *New Phytologist* **115**, s. 639–647.
- FREDERICK, P. E., HEATH, R. L., 1970. Ozone-induced Fatty Acid and Viability Changes in *Chlorella*. *Plant Physiology* **55**, s. 15–19.
- FINLAYSON-PITTS, B. J., PITTS, J. N., 2000. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. San Diego: Academic Press, 969 s.
- FUHRER, J., SKÄRBY, L., ASHMORE, M. R., 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution* **97**, s. 91–106. ISSN 0269-7491.
- GUDERIAN, R. (ed.), 1985. Air Pollution by Photochemical Oxidants. Formation, Transport, Control and Effects on Plants. Ecological Studies, Vol. **52**. Berlin: Springer-Verlag.
- GUIHERIT, R., ROEMER, M., 2000. Tropospheric ozone trends. *Chemosphere-Global Change Science* **2**, s. 167–183.
- GÜNTHARDT-GEORG, M.S., VOLLENWEIDER, P., 2007. Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: New diagnostic perspectives. *Environmental Pollution* **127**, s. 467–488. ISSN 0269-7491.
- HARTMAN, G., NIENHAUS, F., BUTIN, H., 2001. Atlas poškození lesních dřevin – diagnóza škodlivých činitelů a vlivů. Praha: Nakladatelství Brázda, 289 s.
- HŮNOVÁ, I., 2001. Spatial Interpretation of Ambient Air Quality for the Territory of the Czech Republic. *Environmental Pollution* **112**, s. 107–119. ISSN 0269-7491.
- HŮNOVÁ, I., 2006. Pasivní dozimetrie Ogawa pro měření koncentrací přízemního ozonu: zkušenosti s aplikací a výsledky měření ve vybraných horských lesích ve vegetačním období 2004–2005. *Ochrana ovzduší* **5**, s. 8–15.
- HŮNOVÁ, I., COŇKOVÁ, M., 2009. Fytotoxický potenciál přízemního ozonu pro lesy v České republice. *Meteorologické zprávy* **62**, s. 73–79. ISSN 0026-1173.
- HŮNOVÁ, I., MATOUŠKOVÁ, L., SRNĚNSKÝ, R., KOŽELKOVÁ, K., 2011. Ozone influence on native vegetation in the Jizerské hory Mts. of the Czech Republic: results based on ozone exposure and ozone-induced visible symptoms. *Environmental Monitoring Assessment* **183**, s. 501–515.
- HŮNOVÁ, I., NOVOTNÝ, R., UHLÍŘOVÁ, H., VRÁBLÍK, T., HORÁLEK, J. et al., 2010. The impact of ambient ozone on mountain spruce forests in the Czech Republic as indicated by malondialdehyde. *Environmental Pollution* **158**, s. 2393–2401. ISSN 0269-7491.
- HŮNOVÁ, I., SCHREIBEROVÁ, M., 2012. Ambient ozone phytotoxic potential over Czech forests as assessed by AOT 40. *Forest-Biogeosciences and Forestry*, e1–e10.
- HŮNOVÁ, I., SRNĚNSKÝ, R., HORÁLEK, J., KOŽELKOVÁ, K., 2008. Využití pasivních dozimetrů pro vymezení rizikových oblastí z hlediska potenciálního poškození vegetace přízemním ozonem. Případová studie pro CHKO Jizerské hory. Vegetační sezona 2006. Praha: ČHMÚ, ISBN 978-80-86690-57-5.
- CHEVALIER, A., GHEUSI, F., DELMAS, R., ORDÓNEZ, C., SARRAT, C. et al., 2007. Influence of altitude on ozone levels and variability in the lower troposphere: a ground-based study for western Europe over the period 2001–2004. *Atmospheric Chemistry and Physics* **7**, s. 4311–4326.
- IRITI, M., FAORO, F., 2008. Oxidative Stress, the Paradigm of Ozone Toxicity in Plants and Animals. *Water, Air and Soil Pollution* **187**, s. 285–301.
- KIVIMÄNEPÄÄ, M., JÖNSEN, A. M., STJERNQUIST, I., SELLE, G., SUTINEN, S., 2004. The use of light and electron microscopy to assess the impact of ozone on Norway spruce needles. *Environmental Pollution* **124**, s. 441–453. ISSN 0269-7491.
- KRPEŠ, V., 2002. Research on Norway Spruce Growth under Difficult Circumstances of the Beskydy Mts. Climate. *Spisy přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity* **142**, 119 s.
- KRPEŠ, V., 2009. Diferenciace deformací nekrotických pletiv v jehlicích smrku ztepilého vzniklých působením ozónu nebo biotických faktorů. 19–24. In: Monitoring přízemního ozónu a hodnocení ozónových interakcí na Slovensku a v České republice. Zborník abstraktov. Konferencie NLC, 26.–27. 3. 2009, Zvolen.
- KRPEŠ, V., MICHNA, K., 2010. Model deformace mezofyllových buněk jehlic smrku ztepilého po oxidativním stresu. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, Konferencie ČZU, 10.–11. 2. 2010, Praha.

- KRZYZANOWSKI, J., 2004. Ozone variation with height in a forest canopy – results from a passive sampling field campaign. *Atmospheric Environment* **38**, s. 5957–5962. ISSN 1352-2310.
- KYBURZ, S., EICHENBERGER, W., KELLER, T., RENNERBERG, H., SCHRÖDER, P., 1991. Fatty acids of ozone-exposed Scots pine and polar trees and of damaged-field grown Norway spruce trees. *European Journal of Forest Pathology* **21**, s. 49–56. ISSN 0300-1237.
- LOMSKÝ, B., MATERNA, J., PFANZ, H. (eds.), 2002. SO<sub>2</sub> – Pollution and Forests Decline in the Ore Mountains. Jiloviště-Strnady: VÚLHM. ISBN 80-86461-24-6.
- LONG, S. P., NAIDU, S. L., 2002. Effects of oxidants at the biochemical, cell and physiological levels, with particular reference to ozone. In: Bell, J. N. B. – Treshow, M., eds.: *Air Pollution and Plant Life*. Chichester: John Wiley & Sons. Ltd. ISBN 0-471-49091-1.
- MATOUŠKOVÁ, L., HŮNOVÁ, I., 2013. Vliv přízemního ozonu na vegetaci v horském ekosystému: hodnocení pomocí stomatálního toku. *Meteorologické zprávy*, roč. **66**, č. 1, s. 6–16. ISSN 0026-1173.
- MATYSSEK, R., BYTNEROWICZ, A., KARLSSON, P.-E., PAOLETTI, E., SANZ, M. et al., 2007. Promoting the O<sub>3</sub> flux concept for European forest trees. *Environmental Pollution* **146**, s. 587–607. ISSN 1352-2310.
- MATYSSEK, R., WIESER, G., NUNN, A. J., KOZOVITS, A. R., REITER, I. M. et al., 2004. Comparison between AOT40 and ozone uptake in forest trees of different species, age and site conditions. *Atmospheric Environment* **38**, s. 2271–2281.
- MIKKELSEN, T. N., RO-POULSEN, H., PILEGGARD, K., HOVMAND, M. F., JENSEN, N. O. et al., 2000. Ozone uptake by an evergreen forest canopy: temporal variation and possible mechanisms. *Environmental Pollution* **109**, s. 423–429. ISSN 0269-7491.
- MILLER, P. R., PARMETER, J. R., TAYLOR, O. C., CARDIFF, E. A., 1963. Ozone injury to the foliage of ponderosa pine. *Phytopathology* **53**, s. 1070–1076.
- MITTLER, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* **7**, s. 405–410.
- MONKS, P., 2000. A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. *Atmospheric Environment* **34**, s. 3545–3561. ISSN 1352-2310.
- NOVOTNÝ, R., BURIÁNEK, V., ŠRÁMEK, V., 2009. Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu. Recenzovaná metodika. Lesnický průvodce 6. Strnady Jiloviště: VÚLHM.
- NUNN, A. J. M., WIESER, G., METZGER, U., LÖW, M., WIPFLER, P. et al., 2007. Exemplifying whole-plant ozone uptake in adult forest trees of contrasting species and site conditions. *Environmental Pollution* **146**, s. 629–639. ISSN 0269-7491.
- OSTATNICKÁ, J. (ed.), 2012. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2011. Praha: ČHMÚ.
- PAZOURKOVÁ, Z., 1986. Botanická mikrotechnika. Praha: Univerzita Karlova, 165 s.
- PUKACKI, P. M., KAMIŇSKA-ROŽEK, E., 2002. Long-term implications of industrial pollution stress on lipids composition in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots. *Acta Physiologiae Plantarum* **24**, s. 249–255.
- ŘEZANKA, T., VOKOUN, J., SLAVÍČEK, J., PODOJIL, M., 1983. Determination of fatty acids in algae by capillary gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography* **268**, s. 71–78.
- SANZ, M. J., CALATAYUD, V., CALVO, E., 2000. Spatial pattern of ozone injury in Aleppo pine related to air pollution dynamics in a coastal-mountain region of eastern Spain. *Environmental Pollution* **108**, s. 239–247. ISSN 0269-7491.
- SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. New York: John Wiley & Sons.
- SODA, C., BUSSOTI, F., GROSSONI, P., BARENS, J., MORI, B., TANI, C., 2000. Effects of urban levels of ozone on *Pinus hal-pensis* foliage. *Environmental and Experimental Botany* **44**, s. 69–82.
- SORG, O., 2004. Oxidative stress: a theoretical model or a biological reality? *Comptes Rendus Biologies* **327**, s. 649–662.
- ŠRÁMEK, V., NOVOTNÝ, R., VEJPUŠKOVÁ, M., HŮNOVÁ, I., UHLÍŘOVÁ, H., 2012. Monitoring of ozone effects on the vitality and increment of Norway spruce and European beech in the Central European forests. *Journal of Environmental Monitoring* **14**, s. 1696–1702. ISSN 1464-0325.
- UHLÍŘOVÁ, H., HŮNOVÁ, I., NOVOTNÝ, R., LOMSKÝ, B., HORÁLEK, J., 2003. Oxidační stres v podmínkách horských smrčín. *Zprávy lesnického výzkumu* **48**, s. 200–205.
- UHLÍŘOVÁ, H., KAPITOLA, P., 2004. Poškození lesních dřevin. Lesnická práce, s. r. o. Praha, 280 s.
- UN/ECE, 2004. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part X/B. Assessment of Ozone Injury. UNECE, CLRTAP, 2004. Dostupné na WWW: <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>.
- VOLLENWEIDER, P., GÜNTHARDT-GOERG, M. S., 2006. Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution* **140**, s. 562–571. ISSN 0269-7491.
- VOLLENWEIDER, P., OTTIGER, M., GÜNTHARDT-GOERG, M. S., 2003. Validation of leaf ozone symptoms in natural vegetation using microscopical methods. *Environmental Pollution* **124**, s. 101–118. ISSN 0269-7491.
- WIESER, G., HÄSLER, R., GÖTZ, B., KOCH, W., HAVRANEK, W. M., 2000. Role of climate, crown position, tree age and altitude in calculated ozone flux into needles of *Picea abies* and *Pinus cembra*: a synthesis. *Environmental Pollution* **109**, s. 415–422. ISSN 0269-7491.
- WOLFEDEN, J., WELLBURN, A. R., 1991. Effects of summer ozone on membrane lipid composition during subsequent frost hardening in Norway spruce (*Picea abies*). *New Phytologist* **118**, s. 323–329.
- WULFF, A., ANTONEN, S., HELLER, W., SANDER-MANN, J., KÄRENLAMP, L., 1996. Ozone sensitivity of scots pine and Norway spruce from northern and local origin to long-term open-field fumigation in central Finland. *Environmental and Experimental Botany* **36**, s. 209–227.
- ZAPLETAL, M., 2010. Snížení plnění celospolečenských funkcí lesa vlivem potenciálního působení přízemního ozonu v kontextu klimatické změny. Projekt VaV MŽP SP/1b7/189/07. Závěrečná zpráva.
- ZAPLETAL, M., PRETEL, J., CHROUST, P., CUDLÍN, P., EDWARDS-JONÁŠOVÁ, M. et al., 2012. The influence of climate change on stomatal ozone flux to forest ecosystem. *Environmental Pollution* **169**, s. 267–273. ISSN 0269-7491.

Lektor (Reviewer): RNDr. Leona Vlasáková, Ph.D.

# PŘÍSPĚVEK PROJEKTU UHI K POZNÁNÍ KLIMATU PRAHY

Petr Skalák, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4; Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4, 603 00 Brno, skalak@chmi.cz

Michal Žák, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4; katedra meteorologie a ochrany prostředí MFF UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

Pavel Zahradníček, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4, 603 00 Brno; Český hydrometeorologický ústav, Pobočka Brno, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno

Karel Helman, katedra statistiky a pravděpodobnosti FIS VŠE, Nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3

**The UHI project's contribution towards a better understanding of the Prague climate.** We have analyzed air temperature observations in Prague, the Czech Republic, with an emphasis on the properties and dynamics of its urban heat island (UHI). Warming of the city has become apparent over the last 53 years (1961–2013), no matter whether maximum, minimum or mean temperatures are being considered. Linear trends reach up to  $+0.6$  °C/decade for some months and are very often statistically significant. Monthly temperatures have increased up to  $+1.5$  °C when comparing the periods, 1961–1990 and 1991–2013. Warming is the strongest in the city centre and indirectly points out the UHI amplification. The reoccurrence of extremely hot days and nights is growing statistically significantly in the city centre and faster than at suburban stations. The assessment of the UHI is based on a comparison of air temperatures at the Klementinum urban station and three rural stations. From April to September, the UHI intensity for monthly minimum temperature exceeds  $2$  °C and has increased by  $0.5$ – $0.7$  °C in the last 23 years. Monthly UHI intensities derived from mean and maximum temperatures and their changes in time are generally smaller (or even negative from March to October for maximum temperature).

**KLÍČOVÁ SLOVA:** teplota vzduchu – tepelný ostrov městský – UHI projekt – Praha

**KEYWORDS:** air temperature – urban heat island – UHI project – Prague

## 1. ÚVOD

Studium klimatu města je v současné době velmi aktuální téma. Ve městech se soustřeďuje stále více obyvatel vyspělých i rozvojových zemí. Polovina obyvatel naší planety žila v roce 2007 ve městech, přičemž více než 70 % této populace připadlo na rozvojové země. (Molina et al. 2008). Odhaduje se, že v roce 2050 podíl městského obyvatelstva na celkovém počtu obyvatel Země naroste na 69 %, což znamená, že ve městech bude žít 6,3 miliardy lidí (UN 2011). Pokračující urbanizace zejména v rozvojových částech světa staví lidstvo před celou řadu nových problémů a výzev.

Odlišnost klimatických podmínek města od venkovského prostředí je známa již téměř 200 let (Howard 1833) a popsána v celé řadě prací (např. Oliver 2005). Jedním z nejznámějších mikroklimatických až mezoklimatických jevů, který vzniká v městských oblastech, je městský tepelný ostrov (MTO). V jednoduchosti ho lze popsat jako relativní oteplení města vůči okolnímu venkovu. V České republice byla existence MTO zdokumentována v Brně (Dobrovolný et al. 2012) a Praze (např. Brázdil, Budíková 1999; Beranová, Huth 2003).

Brázdil a Budíková (1999) zkoumali vývoj MTO v Praze v období 1922–1995 porovnáním průměrné roční a sezonní teploty vzduchu na stanici Praha-Klementinum a 17 venkovských stanicích. Zjistili zesílení MTO, nejvíce ( $\sim 0,06$  °C za 10 let) v zimě a na jaře. Upozornili rovněž na stagnaci vývoje MTO od 60. let 20. století.

Autoři novější studie o MTO v Praze (Beranová, Huth 2003) kvantifikovali intenzitu MTO pomocí rozdílu denní minimální teploty vzduchu na městské stanici Praha-Klementinum a venkovských stanicích v Doksaněch, Brandýse nad Labem a Ondřejově a zkoumali její chování v období 1961–1990 v závislosti na cirkulaci atmosféry. Maximum intenzity MTO detekovali v létě, zatímco minimum nejčastěji na podzim. Největší intenzity MTO zaznamenali při anticyklonálních situacích ( $2,57$  °C) a při převládajícím proudění od severu a severo-

východu ( $2,59$  °C), dále určili nárůst průměrné roční intenzity MTO o  $1,2$  °C za století. Hodnoty lineárního trendu se ale lišily v různých ročních obdobích (největší růst na podzim, nejmenší v zimě) a cirkulačních typech (anticyklonální situace  $1,6$  °C za století, cyklonální situace  $1,3$  °C za století).

Zesilování MTO ve velkých městech staví dnes tuto problematiku do popředí zájmu nejen klimatologů, ale také architektů, urbanistů, odborníků na územní plánování nebo představitelů místních samospráv. Jejich úkolem je pomocí nejnovějších poznatků a technologií přispět ke zmírnění negativních projevů MTO, a městského klimatu obecně, a ke zlepšení kvality života ve městě. Podobné ambiciózní cíle si vytyčil i v roce 2014 ukončený projekt „UHI – Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon (UHI)“ (Vývoj a aplikace zmírňujících a adaptačních opatření a nástrojů pro boj s globálním jevem městských tepelných ostrovů) financovaný Evropskou unií v rámci operačního programu Central Europe (<http://eu-uhi.eu>). Snahou projektu UHI bylo nastartovat spolupráci odborníků z různých oborů, akademickou sférou počínaje a komunální politikou konče, a propojit jejich znalosti a výsledky práce k vytvoření konkrétních adaptačních, mitigačních a řídicích strategií spjatých s fenoménem MTO. Projekt se zaměřil na 8 evropských metropolitních aglomerací včetně Prahy a zúčastnilo se jej celkem 17 institucí ze 6 středoevropských zemí a Itálie. Za Českou republiku se na projektu podílely Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy.

Cílem tohoto příspěvku je představit vybrané poznatky o vývoji teploty vzduchu v Praze v letech 1961–2013 tak, jak byly zpracovány pro potřeby projektu UHI.

## 2. DATA

Shrnutí klimatických poměrů v Praze přinesla v nedávné

minulosti práce Pretela et al. (2010), kterou autoři z ČHMÚ zpracovali v rámci smluvního výzkumu pro tehdejší Útvar rozvoje hlavního města Prahy (dnes Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy). V této studii autoři provedli analýzu teplotních a srážkových podmínek na území Prahy v období let 1961–2009 a zpracovali jejich očekávaný výhled do období kolem roku 2020. Tato analýza rovněž posloužila jako základ popisu podnebí Prahy při řešení projektu UHI s tím, že byla rozšířena o data až do roku 2013 a další staniční údaje k popisu fenoménu MTO.

Ke zpracování teplotních poměrů v Praze byla použita data o denní průměrné, minimální a maximální teplotě vzduchu z profesionálních synoptických stanic Praha-Ruzyně, Praha-Karlov, Praha-Libuš a klimatologické stanice Praha-Klementinum. Autoři jsou si vědomi faktu, že čidla na Karlově a v Klementinu nejsou umístěna v souladu s předpisy WMO, ale vzhledem k výlučnosti tamních měření a nedostatku jiných v centru Prahy je nutné využít právě dat naměřených na těchto stanicích. Jako venkovské referenční stanice byly ke studiu MTO zvoleny stanice v Brandýse nad Labem – Staré Boleslavi, Dobřichovicích a Tuhaň (v letech 1961 až 1992 známá jako stanice Tišice). Pro všechny stanice byly na vstupu analýzy použity tzv. technické řady, které vznikly kontrolou kvality, homogenizací a doplněním chybějících časových úseků měřených denních dat uložených v databázi ČHMÚ Clidata. Takto zpracovaná data by neměla obsahovat zjevné chyby, měla by být homogenní. To znamená, že celá časová řada odpovídá stávajícím podmínkám (např. současné poloze stanice) a všechny s klimatem nesouvisící projevy, které negativně ovlivňují kvalitu řady (přesuny, změny přístrojů atd.), jsou potlačeny. Všechny chybějící hodnoty či úseky byly dopočítány z okolních stanic pro podmínky dané stanice. Metodika tvorby technických řad v denním časovém rozlišení je podrobněji popsána v práci Štěpánka et al. (2012). Použité stanice, jejich metadata a dostupnost původních měření shrnuje tab. 1. Zeměpisné údaje odpovídají aktuální poloze stanice, pro niž byla zkonstruována celá technická řada.

Zpracováno bylo jednak období 1961–2013 jako celek a dále zvlášť jeho dvě části – standardní (1961–1990) a tzv. nové (1991–2013) období. V závislosti na ukazateli představujeme výsledky pro jedno či více z těchto tří období. Charakteristické údaje pro celou Prahu, např. průměrná měsíční teplota, byly spočteny jako aritmetický průměr ze všech dostupných stanic, včetně výběrové směrodatné odchylky, která vyjadřuje velikost odchylek jednotlivých stanic od tohoto průměru.

Změna teploty vzduchu byla zkoumána také plošně pro oblast

celého města. Z technických řad pro Českou republiku (268 stanic) byl vypočten desetiletý průměr teploty pro období 1961 až 1970 a 2001–2010. Tyto hodnoty byly interpolovány pomocí digitálního modelu terénu v rozlišení 500 m. Ze spočtených rastrových vrstev pro celou Českou republiku byla následně separována oblast Prahy.

### 3. VÝSLEDKY

#### 3.1 Roční chod teploty vzduchu

Roční chod teploty vzduchu vykazuje na všech pražských stanicích v celém období 1961–2013 stejné rysy u všech tří typů teploty (minimální, průměrnou, maximální). V souladu s očekáváním je nejteplejší stanice v centru města (Klementinum), stanice Ruzyně ležící na periférii města, a současně v největší nadmořské výšce, je nejchladnější. Charakteristická průměrná měsíční teplota vzduchu, spočtená jako průměr ze staničních údajů, na území Prahy v různých časových obdobích, včetně výběrové směrodatné odchylky, je uvedena v tab. 2. Výběrové směrodatné odchylky se v průběhu roku nijak významně nemění. Nejmenší jsou u maximální teploty (0,6 až 0,8 °C), největší pro minimální teplotu vzduchu (0,9 až 1,1 °C).

#### 3.2 Změny a dlouhodobé trendy teploty vzduchu

Z tab. 2 je rovněž patrné oteplení, k němuž v Praze dochází. Rozdíly charakteristické teploty mezi obdobím „novým“ a „standardním“ se pohybují od 0,3 °C (říjen, prosinec) až do 1,5 °C (leden, duben, srpen). Nejmenší nárůst teploty se děje v poslední třetině roku, o 0,3 až 0,6 °C. V ostatních částech roku se oteplilo o 0,8 až 1,5 °C.

Oteplení na pražských stanicích v novém období vůči období standardnímu je možné odhalit i v případě měsíčních průměrů denních maxim a minim teploty vzduchu. Jak ale ukazuje obr. 1, roční chod změn je pro obě teploty rozdílný. Zatímco oteplení o cca +1,5 °C v dubnu je jednou z nejvýraznějších změn maximální teploty vůbec, v případě minimální teploty není v tomto měsíci nárůst teploty tolik zřejmý. V měsících září a říjnu, kdy jsou změny obou typů teploty vzhledem ke zbytku roku obecně nejmenší, je zase zvýšení minimální teploty výraznější než u teploty maximální.

Tab. 1 Geografické informace o stanicích na území hlavního města Prahy a v jeho okolí použitých při zpracování.

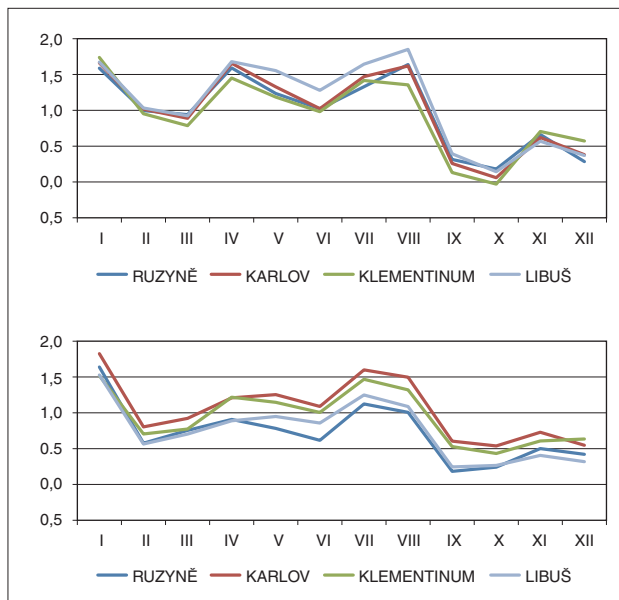
Table 1. Geographical information about stations in the capital city of Prague and its surroundings that have been used for analyses.

| Oblast | Stanice           | Zeměpisná šířka | Zeměpisná délka | Nadmořská výška [m] | Dostupnost měřených dat            |
|--------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------------------------|
| PRAHA  | Karlov            | 50°04'10"       | 14°25'40"       | 232                 | 01/1961–12/2013                    |
|        | Klementinum       | 50°05'27"       | 14°25'09"       | 191                 | 01/1961–12/2013                    |
|        | Libuš             | 50°00'29"       | 14°26'49"       | 302                 | 01/1971–12/2013                    |
|        | Ruzyně            | 50°06'03"       | 14°15'28"       | 364                 | 01/1961–12/2013                    |
| VENKOV | Brandýs nad Labem | 50°11'23"       | 14°39'38"       | 179                 | 01/1961–12/2013                    |
|        | Dobřichovice      | 49°56'00"       | 14°16'33"       | 205                 | 04/1999–12/2013                    |
|        | Tuhaň             | 50°17'43"       | 14°31'14"       | 160                 | 01/1961–10/1992<br>10/1993–12/2013 |

Tab. 2 Charakteristická průměrná měsíční teplota v Praze [°C], včetně prostorové výběrové směrodatné odchylky (smodch), pro různá časová období.

Table 2. Typical monthly air temperature averages [°C] in Prague, including standard deviations for different time periods.

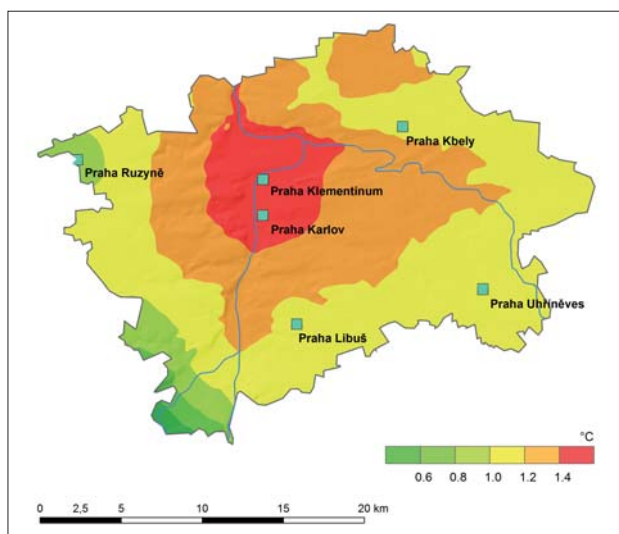
| Období     | Praha   | I    | II  | III | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X   | XI  | XII | ROK |
|------------|---------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Celé       | teplota | −0,5 | 0,7 | 4,5 | 9,4  | 14,3 | 17,5 | 19,2 | 18,8 | 14,5 | 9,4 | 4,3 | 0,8 | 9,4 |
|            | smodch  | 0,8  | 0,9 | 0,8 | 0,9  | 0,9  | 1,0  | 1,0  | 0,9  | 0,8  | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 |
| Standardní | teplota | −1,2 | 0,4 | 4,1 | 8,8  | 13,8 | 17,0 | 18,6 | 18,1 | 14,4 | 9,3 | 4,0 | 0,6 | 9,0 |
|            | smodch  | 0,7  | 0,9 | 0,8 | 0,9  | 0,9  | 1,0  | 0,9  | 0,8  | 0,8  | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 |
| Nové       | teplota | 0,3  | 1,2 | 4,9 | 10,3 | 15,0 | 18,1 | 20,0 | 19,6 | 14,8 | 9,5 | 4,6 | 0,9 | 9,9 |
|            | smodch  | 0,8  | 1,0 | 0,9 | 0,9  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 0,9  | 0,9  | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |



Obr. 1 Změny měsíčního průměru denního maxima (nahore) a minima (dole) teploty vzduchu [°C] na stanicích v Praze mezi obdobími 1961 až 2013 a 1961–1990.

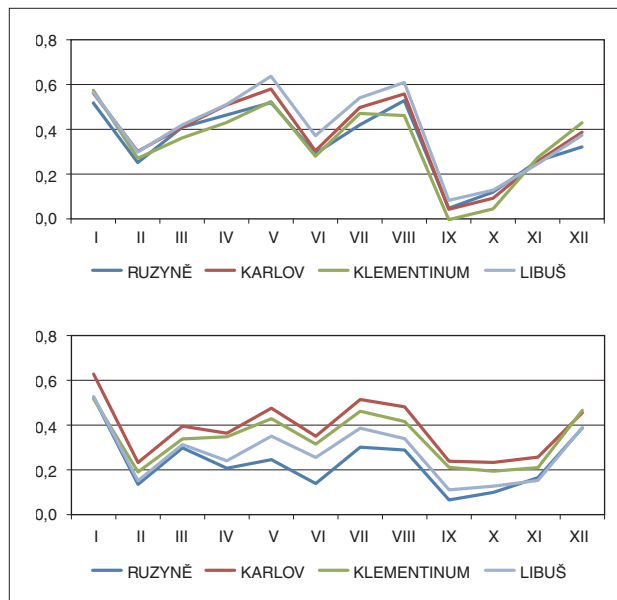
Fig. 1. Changes of monthly maximum (top) and minimum (down) air temperature at stations in Prague between the periods 1961–1990 and 1991–2013.

Liší se také chování jednotlivých stanic v rámci pražské aglomerace. V případě teploty maximální jsou velikost a průběh změn na všech stanicích prakticky identické, s výjimkou stanice Libuš v období června až září. Chování stanice Libuš, projevuje se i u průměrné teploty, dávají Pretel et al. (2010) do souvislosti s proměnou okolí stanice v důsledku vybudování sídlištní zástavby v průběhu 70. a 80. let minulého století. U teploty minimální se naopak u pražských stanic vzájemně odlišuje velikost změn, často až o 0,5 °C. Zároveň je patrné větší oteplení stanic ve středu města než na jeho okraji. To také na příkladu rozdílu ročního průměru denních minim teploty vzduchu v desetiletích 1961–1970 a 2001–2010 ilustruje mapa na obr. 2. Zvýšení minimální teploty v centru města



Obr. 2 Rozdíl ročního průměru denních minim teploty vzduchu [°C] v desetiletích 2001–2010 a 1961–1970.

Fig. 2. Difference of annual average of minimum air temperature [°C] for decades 1961–1970 and 2001–2010.



Obr. 3 Roční chod lineárních trendů nárůstu denního maxima (nahore) a minima (dole) teploty vzduchu [°C] za 10 let na stanicích v Praze v období 1961–2013.

Fig. 3. Annual course of linear trends of daily maximum (top) and daily minimum (down) air temperature increase (°C per 10 years) at stations in Prague during the period 1961–2013.

dosahuje až 1,5 °C a, s výjimkou okrajů metropole na jihozápadě a západě, je vždy větší než 1,0 °C.

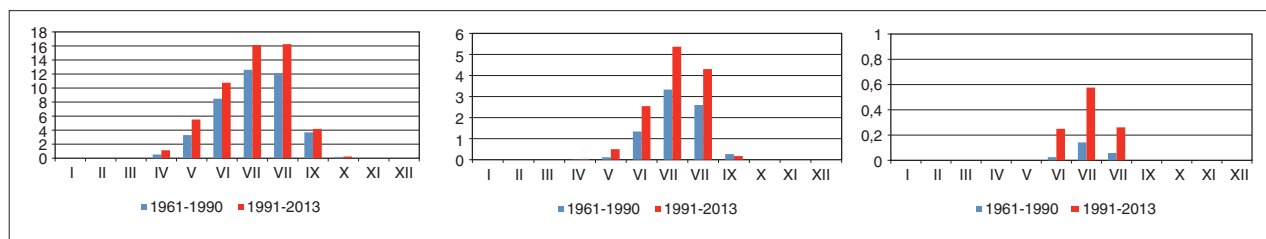
Jiný pohled na dlouhodobý vývoj teploty v Praze nabízí srovnání ročního chodu lineárních trendů maximální a minimální teploty za období 1961–2013, které je zachyceno na obr. 3. V závislosti na měsíci se velikost lineárních trendů pohybuje cca mezi 0 až +0,6 °C za 10 let. Roční chod lineárních trendů je podobný ročnímu chodu změn teploty na obr. 1. Projevuje se rovněž větší blízkost, resp. odlišnost chování lineárních trendů na jednotlivých stanicích u maximální, resp. minimální teploty.

V případě maximální teploty jsou zjištěné lineární trendy v měsících lednu a dále v dubnu až srpnu statisticky významné, na hladině spolehlivosti 0,95. Minimální teplota vykazuje složitější chování. Na stanicích Klementinum, Karlov a Libuš jsou lineární trendy statisticky významné také v dubnu až srpnu. V centru města (Karlov, Klementinum) jsou navíc statisticky významné trendy v září a v prosinci až lednu. Na Ruzyni naproti tomu detekujeme statisticky významné trendy jen v květnu, červenci a srpnu.

### 3.3 Charakteristické dny podle teploty vzduchu

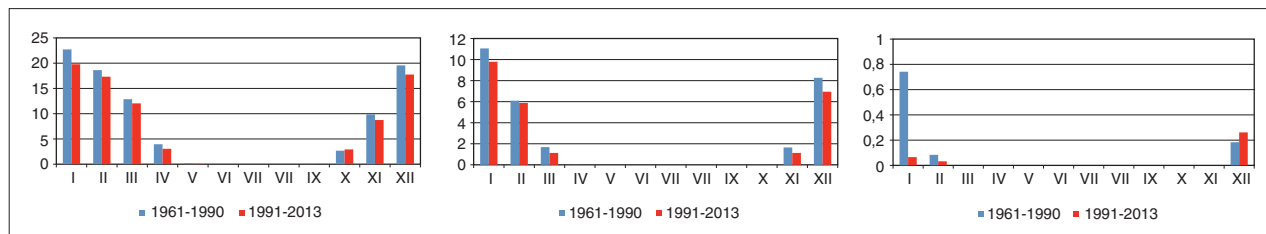
Při studiu maximální ( $T_{\max}$ ) a minimální ( $T_{\min}$ ) teploty vzduchu byla také pozornost zaměřena na zkoumání počtu dní, kdy tyto hodnoty teploty překročily stanovenou hranici. Pro popsání teplého období byl zkoumán počet dní letních ( $T_{\max} \geq 25$  °C), počet dní tropických ( $T_{\max} \geq 30$  °C) a počet tropických nocí ( $T_{\min} \geq 20$  °C), zatímco k popisu chladného období roku byl využit počet dní mrazových ( $T_{\min} < 0$  °C), dní ledových ( $T_{\max} < 0$  °C) a dní arktických ( $T_{\max} \leq -10$  °C).

V období 1991–2013 lze v porovnání s obdobím 1961 až 1990 pozorovat zvýšený výskyt letních i tropických dní, stejně jako tropických nocí (obr. 4). V roční sumě došlo na území Prahy ke zvýšení průměrného počtu letních dní v průměru o 13, nejvíce v srpnu na okraji města (až +5 dní za měsíc). Maximální nárůst tropických dní, resp. nocí se přesouvá na červenec a jejich průměrné roční navýšení činí +5 dní,



Obr. 4 Průměrné měsíční počty letních (vlevo) a tropických dní (střed) a tropických nocí (vpravo) v Praze v obdobích 1991–2013 a 1961–1990.

Fig. 4. Average monthly number of summer (left), tropical days (centre) and tropical nights (right) in Prague during the periods 1961–1990 and 1991–2013.



Obr. 5 Průměrné měsíční počty mrazových (vlevo) a ledových (střed) a arktických dní (vpravo) v Praze v obdobích 1991–2013 a 1961–1990.

Fig. 5. Average monthly number of frost (left), ice (centre), and arctic days (right) in Prague during the periods 1961–1990 and 1991–2013.

resp. +0,9 dne, přesněji noci. Lineární trendy změny ročního počtu teplých dní a nocí jsou v celém zkoumaném období na všech stanicích statisticky významné, na hladině spolehlivosti 0,95, s výjimkou počtu tropických nocí na Ruzyni (viz tab. 3), kde se za celé studované období vyskytla pouze jedna tropická noc, a tudíž zde nelze o nějakých změnách či trendech uvažovat. V centru města se od roku 1961 zvyšuje roční počet tropických dní, resp. nocí tempem asi dva dny za desetiletí, resp. jedna noc za desetiletí (viz tab. 3).

V období 1991–2013 lze rovněž pozorovat méně častý výskyt mrazových, ledových a arktických dní v porovnání s obdobím 1961–1990 (obr. 5). V ročním úhrnu pozorujeme na území Prahy nižší počet mrazových dní v průměru o 9 dní s maximem jejich výskytu a zároveň úbytku v lednu, především na okraji města (3 dny za měsíc). Maximum ledových dní je rovněž v lednu. Jejich celkový roční počet se v období 1991–2013 snížil o 4 dny. K úbytku dochází nejvíce v prosinci a lednu. Roční počet arktických dní se snížil o 0,7 dne. Jak plyne z tab. 3, trend poklesu ročního počtu mrazových dní o 3 až 5 dní za desetiletí je statisticky významný. Z ostatních ukazatelů u zkoumaných stanic je statisticky významný pouze úbytek ledových dní v Klementinu.

### 3.4 Městský tepelný ostrov (MTO)

Intenzita městského tepelného ostrova Prahy byla vypočtena jako rozdíl naměřených hodnot teploty mezi stanicí Klementinum a průměru hodnot teploty ze tří stanic venkovských uvedených v tab. 1 (Brandýs nad Labem, Dobřichovice, Tuhaň). Vyčíslení bylo provedeno na měsíční časové škále pro dlouhodobou průměrnou měsíční teplotu a pro dlouhodobý měsíční průměr denních maxim a minim teploty v obdobích 1961–1990 a 1991–2013. Roční chody intenzity MTO v obou obdobích pro všechny tři teplotní charakteristiky jsou ilustrovány na obr. 6–8.

Roční chod intenzity MTO vy-

číslené dle maximální teploty vzduchu (viz obr. 6) je dvojitý s primárním maximem v lednu (až +0,5 °C), podružným maximem v červnu nebo červenci, v závislosti na období, a dvěma víceméně stejnými minimálními hodnotami v dubnu a srpnu či září (–0,4 °C). S výjimkou zimního období (listopad–únor) je intenzita MTO záporná, nebo-li na okolních venkovských stanicích jsou dosahována vyšší maxima teploty než v Klementinu. Celkově jsou ale v průběhu roku měsíční intenzity MTO malé, v rozmezí ±0,5 °C. V novějším období, 1991–2013, zůstává celkový tvar ročního chodu intenzity MTO zachován, ale zvyšuje se amplituda.

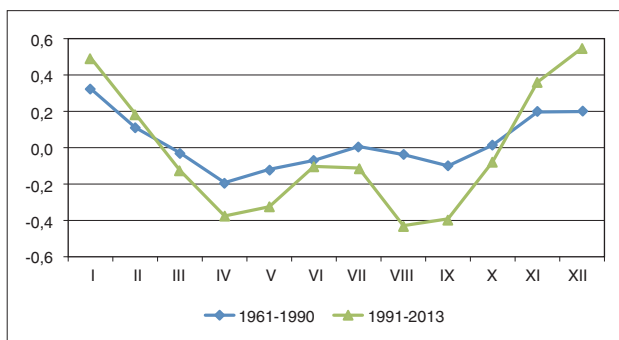
Minimální teplota vzduchu je nejčastěji používanou charakteristikou pro vyčíslení intenzity MTO. Roční chod z minimální teploty vzduchu vypočtené intenzity MTO je ilustrován na obr. 7. Měsíční hodnota intenzity MTO kolísá v rozpětí od 1,0 do 1,7 °C v období 1961–1990, resp. 1,5 až 2,3 °C v letech 1991–2013. Maxima dosahuje na sklonku léta (srpen), minima v prosinci. Roční chod je dvojitý, jeho podoba, výskyt sekundárních maxim/minim, se ale v obou periodách liší, zejména v období 1991–2013 svým tvarem spíše přechází v chod jednoduchý. S výjimkou ledna, kdy lze zaznamenat mírný pokles intenzity MTO (z cca 1,7 na 1,6 °C), došlo v novějším období k jejímu zesílení až o 0,7 °C, zejména v teplé polovině roku (duben až září).

V ročním chodu intenzity MTO podle průměrné měsíční teploty vzduchu na obr. 8 lze nalézt rysy z obou předchozích grafů pro intenzitu MTO podle maximální a minimální teploty. Roční chod je dvojitý, s hlavním maximem v září či říjnu, 0,9 až

Tab. 3 Lineární trend změny ročního počtu charakteristických dní dle maximální a minimální teploty vzduchu (dny za 10 let) na stanicích v Praze v období 1961–2013. Statisticky významný trend na hladině spolehlivosti 0,95 zvýrazněn tučně.

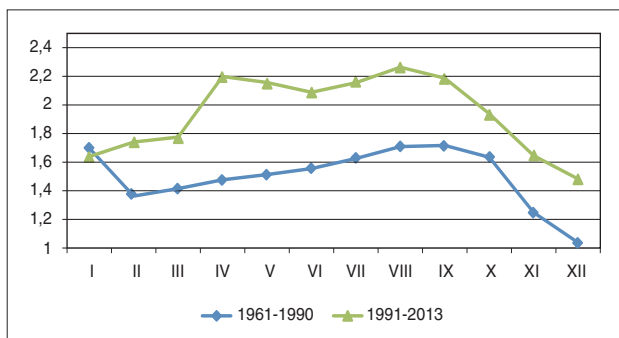
Table. 3. Linear trend of the annual number of characteristic days based on maximum and minimum air temperature (days per 10 years) at stations in Prague during the period 1961–2013. Statistically significant trend at significant level of 0.95 bold.

| Stanice     | Den letní   | Den tropický | Noc tropická | Den mrazový  | Den ledový   | Den arktický |
|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Karlov      | <b>4,72</b> | <b>2,02</b>  | <b>0,34</b>  | <b>–4,50</b> | <b>–2,00</b> | <b>–0,19</b> |
| Klementinum | <b>4,29</b> | <b>1,53</b>  | <b>0,80</b>  | <b>–3,37</b> | <b>–2,23</b> | <b>–0,17</b> |
| Libuš       | <b>5,01</b> | <b>2,11</b>  | <b>0,13</b>  | <b>–3,33</b> | <b>–1,73</b> | <b>–0,21</b> |
| Ruzyně      | <b>3,45</b> | <b>1,04</b>  | 0,01         | <b>–3,85</b> | <b>–1,63</b> | <b>–0,25</b> |



Obr. 6 Roční chod intenzity městského tepelného ostrova [°C] vyčíslené dle dlouhodobého měsíčního průměru denního maxima teploty vzduchu v obdobích 1991–2013 a 1961–1990.

Fig. 6. Annual course of urban heat island intensity [°C] based on long-term monthly averages of daily air temperature maximum during the periods 1961–1990 and 1991–2013.



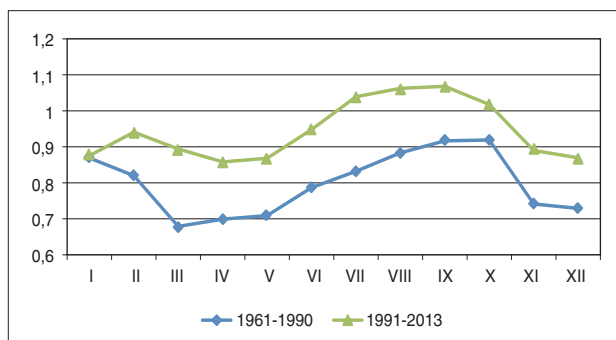
Obr. 7 Roční chod intenzity městského tepelného ostrova [°C] vyčíslené dle dlouhodobého měsíčního průměru denního minima teploty vzduchu v obdobích 1991–2013 a 1961–1990.

Fig. 7. Annual course of urban heat island intensity [°C] based on long-term monthly averages of daily air temperature minimum during the periods 1961–1990 and 1991–2013.

1,1 °C v závislosti na období, a podružným maximem v lednu či únoru 0,9 °C. Minima na konci roku (prosinec) a na jaře (březen či duben) jsou si co do velikosti podobná, 0,7 °C až 0,9 °C v závislosti na období. Amplituda ročního chodu je velmi malá, jen asi 0,2 °C, přesto opět s výjimkou ledna detekujeme zesílení intezity MTO až o 0,2 °C.

#### 4. DISKUZE

Analýza dlouhých řad pozorování teploty vzduchu na stanicích v Praze odhalila oteplení, ke kterému v Praze za posledních 53 let dochází. Jeho míra se v průběhu roku mění, liší se u teploty průměrné, maximální a minimální a je, zejména v případě minimální teploty, závislá na konkrétní uvažované stanici. V letech 1991–2013 se na pražských stanicích zvýšila v některých měsících teplota až o 1,5 °C ve srovnání s obdobím 1961–1990. Tempo růstu teploty dosahuje až 0,6 °C za desetiletí a vypočtené lineární trendy jsou především na jaře a v létě statisticky významné. Z pohledu jednotlivých částí města se nejvíce otepluje střed města, viz např. obr. 2. Zde se také nejvíce zvyšují počty dní s extrémně vysokou teplotou vzduchu. Ačkoliv nárůst počtu tropických nocí v Klementinu temperem 0,8 dne za desetiletí se může zdát zanedbatelný, detailní pohled na vývoj počtu tropických nocí na stanici na obr. 9 ukazuje, jak moc se v posledních 20 letech zvýšila četnost jejich výskytu. Zatímco až do počátku 90. letech 20. století byly v Klementinu zaznamenávány maximálně dvě tropické noci za rok, v posledních 20 letech se jich často ročně vyskytuje 4 a více, v extrém-



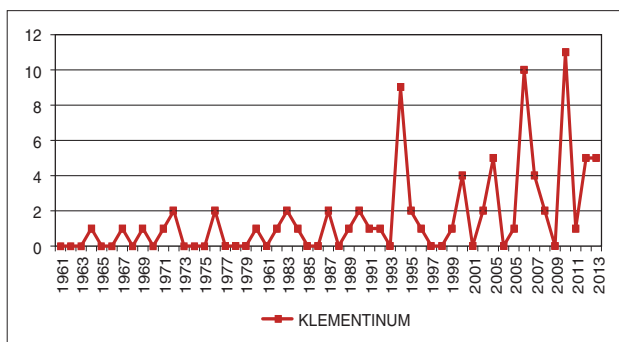
Obr. 8 Roční chod intenzity městského tepelného ostrova [°C] vyčíslené dle dlouhodobé průměrné měsíční teploty vzduchu v obdobích 1991–2013 a 1961–1990.

Fig. 8. Annual course of urban heat island intensity [°C] based on long-term monthly averages of daily air temperature average during the periods 1961–1990 and 1991–2013.

ním roce 2010 dokonce 11. Také v roce 2014, který je mimo časový rámec této analýzy, se v Klementinu vyskytla tropická noc celkem sedmkrát. Zvyšování četnosti výskytu extrémně horkých dní a nocí v centru Prahy je velmi nepříznivý jev z hlediska kvality života ve městě. Klasické klimatologické indexy aplikované v tomto článku navíc nejsou zcela ideálními ukazateli pro lidské vnímání tepelného komfortu v extrémním teplu či mraze. Za tímto účelem se uvažuje celá řada bioklimatologických indexů, zahrnujících více meteorologických parametrů než samotnou teplotu vzduchu (např. vlhkost, rychlost větru atd.), vlastnosti lidského organismu či oděvu. Zahradníček et al. (2014) např. v rámci projektu UHI použili jeden z takových indexů, fyziologicky ekvivalentní teplotu (Hoppe 1999), a ukázali, že počet tropických dnů v Praze dle fyziologicky ekvivalentní teploty je až dvaapůlkrát větší než dle teploty normální. To ukazuje, že z pohledu lidského vnímání má probíhající oteplování Prahy větší význam, než jak by plynulo pouze z výsledků zde předložených. U pozorovaných změn lze ale v rámci vnímání tepelného komfortu lidmi příznivě hodnotit úbytek počtu mrazových a ledových dní.

Všechny tyto sledované změny poskytují nepřímý, leč jasný důkaz o zesilování pražského tepelného ostrova. Naším záměrem bylo stanovit intenzitu MTO i klasickým porovnáním městských a venkovských stanic, učinit tak pro teplotu průměrnou, minimální i maximální v průběhu roku a posoudit časové změny vývoje pražského tepelného ostrova. Ve skupině venkovských stanic jsme na rozdíl od autorů dřívějších studií neuvažovali se stanicí Ruzyně na okraji Prahy. Naším záměrem bylo použít stanice ve srovnatelné nadmořské výšce jako Klementinum a vypočtenou intenzitou MTO se alespoň pokusit přiblížit její absolutní velikosti. U stanice Ruzyně lze navíc očekávat určité ovlivnění tepelným ostrovem Prahy, i když toto nelze úplně vyloučit ani v případě námi zvolených stanic, zejména stanice v Brandýse nad Labem. Ta svým umístěním v zástavbě menšího města nedaleko Prahy nemusí zcela dobře vystihovat teplotní poměry na venkově. Jistou slabinou našeho výběru je i volba stanice Dobruška s kratší měřnou řadou. K dopočetí chybějících hodnot byly totiž použity údaje z okolních stanic (Libuš, Karlov, Klementinum, Ruzyně, Neumětely, Netvořice, Uhřetěves), tedy včetně stanice, s níž činíme srovnání. V každém případě je námi vypočtené intenzity MTO nutno považovat za relativní a pozornost věnovat spíše jejím změnám v průběhu času.

V souladu s obecným popisem fenoménu MTO, viz např. Oliver 2005, se pražský tepelný ostrov projevuje zejména v pří-



Obr. 9 Roční počet tropických nocí v Klementinu v letech 1961–2013.

Fig. 9. Annual number of tropical nights at Klementinum during the period 1961–2013.

padě minimální teploty vzduchu. Jeho intenzita navíc zesiluje v průběhu celého roku, s výjimkou ledna, kdy lze dokonce zaznamenat nepatrný pokles (obr. 10). Největší zesílení se děje v letní polovině roku (duben až září), o 0,5 až 0,7 °C, což z pohledu kvality života ve městě vnímáme jako negativní signál, zejména měl-li by tento trend pokračovat i do budoucna. Z pohledu průměrné teploty vzduchu (viz obr. 10) se intenzita MTO zvětšila v průběhu celého roku jen nepatrně o 0,1 až 0,2 °C, opět s výjimkou ledna (beze změny). Záporné hodnoty intenzity MTO dle maximální teploty jsou patrně důsledkem zastínění způsobeného budovami v centru města, resp. areálu Klementina, v denní době, kdy pak sluneční záření dopadá na povrch ulic jen v omezené míře. Naopak mírně kladné hodnoty intenzity MTO v zimním období mohou být způsobeny antropogenními zdroji tepla ve městě (vliv dopravy a vytápění).

## 5. ZÁVĚR

Během řešení projektu UHI byla provedena analýza chování teploty vzduchu v letech 1961–2013 na území Prahy s důrazem na poznání vlastností a dynamiky pražského tepelného ostrova. Bez ohledu na uvažovanou teplotu (maximální, průměrnou nebo minimální) je pozorován nárůst teploty, v některých měsících roku se statisticky významným lineárním trendem až o 0,6 °C za desetiletí. Zvýšení měsíční teploty při srovnání dvou období 1961–1990 a 1991–2013 dosahuje až +1,5 °C. Pro zkoumanou množinu pražských stanic jsou změny stejné pro maximální a průměrnou teplotu vzduchu, ale liší se u teploty minimální, pro niž je patrně rychlejší oteplování v centru města. V Praze také dochází ke statisticky průkaznému navýšení počtu tropických dnů a nocí, letních dnů, a naopak úbytku dnů mrazových. Tempo zvyšování výskytu velmi vysokých a z hlediska komfortu obyvatel města nepříjemných hodnot teploty je ve středu města větší než na jeho okraji. S rozdílnou dynamikou je spjaté i zesilování intenzity pražského tepelného ostrova zejména při jeho kvantifikaci pomocí minimální teploty vzduchu. V letním půlroce intenzita MTO přesahuje 2 °C a zvětšila se o více než o 0,5–0,7 °C. Intenzita MTO vyjádřená teplotou průměrnou či maximální je menší či dokonce záporná a menší jsou i její změny.

### Poděkování:

Předložený příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu UHI – Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon, který podpořila Evropská unie v rámci operačního programu Central Europe.



Obr. 10 Změna intenzity pražského tepelného ostrova [°C] mezi obdobími 1991–2013 a 1961–1990 dle průměrné ( $T$ ), maximální ( $T_{max}$ ) a minimální ( $T_{min}$ ) teploty vzduchu.

Fig. 10. Change of Prague's urban heat island intensity [°C] during the periods 1961–1990 and 1991–2013 according to average ( $T$ ), maximum (TMA), and minimum (TMI) air temperatures.

### Literatura:

- BRÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M., 1999. An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, The Czech Republic. *Atmospheric Environment*, Vol. **33**, s. 4211–4217. ISSN 1352-2310.
- BERANOVÁ, R., HUTH, R., 2003. Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. *Meteorologické zprávy*, roč. **56**, s. 137–142. ISSN 0026-1173.
- DOBROVOLNÝ, P., et al., 2012. Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu. Brno: Masarykova univerzita, ISBN 978-80-210-6029-6.
- HÖPPE, P., 1999. The physiological equivalent temperature – A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, Vol. **43**, s. 71–75.
- HOWARD, L., 1833. The Climate of London, Vols. **1–3**. London: Harvey & Darton.
- MOLINA, L. T., MADRONICH, S., GAFFNEY, J. S., SINGH, H. B., 2008. Overview of MILAGRO/INTEX-B Campaign, *IGAC Newsletter*, 38, s. 2–15.
- OLIVER, J. E., 2005. Encyclopedia of World Climatology. Dordrecht: Springer. ISBN 978-1-4020-3264-6.
- PRETEL, J., VALERIÁNOVÁ, A., KUBÁT, J., 2009. Analýza základních charakteristik klimatu v Praze a výhled do roku 2020. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 54 s.
- ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., TOLASZ, R., 2011. Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii. Praha: Český hydrometeorologický ústav, ISBN 978-80-86690-97-1.
- UNITED NATIONS, 2011. Urban population, development and environment 2011 [online]. [cit. 27. 10. 2014]. Dostupné z WWW: [http://www.un.org/esa/population/publications/2011UrbanPopDevEnv\\_Chart/urban\\_wallchart\\_2011-web-smaller.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/2011UrbanPopDevEnv_Chart/urban_wallchart_2011-web-smaller.pdf)
- ZAHRADNÍČEK, P., ŽÁK, M., SKALÁK, P., 2014. Fyziologický ekvivalentní teplota jako ukazatel UHI efektu na příkladu města Prahy. In: J. ROŽNOVSKÝ, T. LITSCHMANN, eds., Mendel a bioklimatologie. Brno, 3.–5. 9. 2014, ISBN 978-80-210-6983-1.

Lektor (Reviewer): RNDr. Jan Pretel, CSc.

# NÁVRH NOVÝCH PRAVIDEL VYHLAŠOVÁNÍ SMOGOVÝCH SITUACÍ A REGULACÍ PRO SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM<sub>10</sub>

Ondřej Vlček, Český hydrometeorologický ústav, oddělení modelování a expertiz, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, vlcek@chmi.cz

Roman Juras, Český hydrometeorologický ústav, oddělení modelování a expertiz, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany; Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchbát

Josef Keder, Český hydrometeorologický ústav, Observatoř Tušimice, Tušimice 6, 432 01 Kadaň

**A proposal for new rules for the timely announcement of smog alerts and the regulation of suspended particles PM<sub>10</sub>.** The new Air Protection Act No. 201/2012 came into force on 1<sup>st</sup> September 2012 and set down new rules for operation of the Smog Warning and Regulatory System (SWRS). Previous analysis showed that for PM<sub>10</sub> the new rules lead to the reduction of the number and duration of smog situations and especially of regulation (smog alert announcements). Moreover, experiences from the 2012/2013 heating season revealed that the announcement of smog situations and regulations for PM<sub>10</sub> have been delayed with respect to the increase of concentrations above the threshold values. Sometimes the delay is more than 2 days long. On the other hand, the smog situation often lasts even when PM<sub>10</sub> concentrations have dropped below the threshold value. In this situation, neither the public is informed in time, nor are the regulations effectively applied. The article presents the draft of new rules for smog alert announcements that eliminate these problems.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** smogový varovný a regulační systém (SVRS) – suspendované částice PM<sub>10</sub> – smogová situace – regulace – znečištění ovzduší – zákon č. 201/2012 Sb. – legislativa

**KEY WORDS:** Smog Warning and Regulatory System (SWRS) – suspended particles PM<sub>10</sub> – smog situation – regulation – air pollution – act No. 201/2012 – legislation

## 1. ÚVOD

Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. vešel v platnost 1. září 2012 a zrušil zákon č. 86/2002 Sb. a s ním související právní předpisy. Tím byla změněna i pravidla vyhlášení smogových situací a regulací v rámci smogového varovného a regulačního systému (SVRS). Z předchozí analýzy této změny (Juras, Vlček 2013) vyplynulo, že nová pravidla vedla ke snížení počtu a průměrné délky trvání smogových situací a především regulací. V průběhu topné sezony 2012/2013 se navíc ukázalo, že smogové situace a regulace pro suspendované částice PM<sub>10</sub> (dále označované jen jako PM<sub>10</sub>) jsou často vyhlášeny i s více jak dvoudenním zpožděním oproti skutečnému nárůstu koncentrací nad prahovou hodnotu (obr. 1). Smogové situace a regulace zároveň zůstávají v platnosti i po poklesu koncentrací PM<sub>10</sub> pod odpovídající prahové hodnoty. Stávající pravidla tak neslouží ani k včasnému informování veřejnosti, ani k efektivní regulaci zdrojů znečištění ovzduší. Příspěvek představuje návrh nových pravidel, která uvedené nedostatky odstraňují, a postup, jak se k nim dospělo.

## 2. STÁVAJÍCÍ PRAVIDLA SVRS

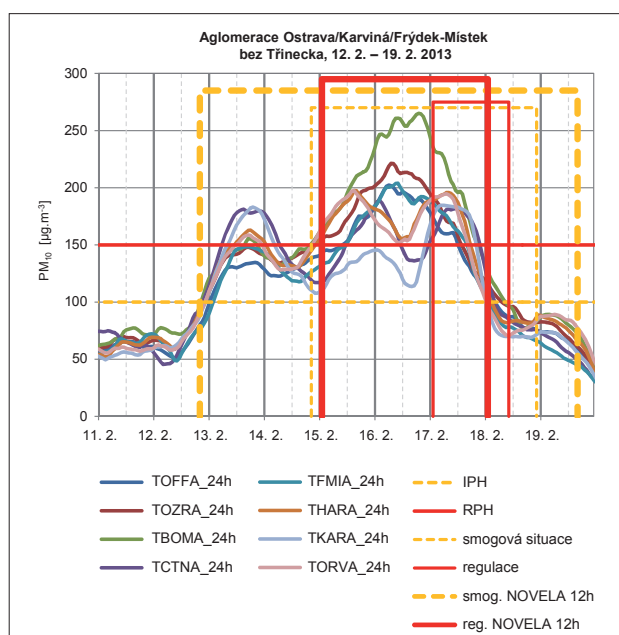
Pravidla pro vyhlášení a odvolávání smogových situací a regulací pro PM<sub>10</sub> podle přílohy č. 6 zákona 201/2012 Sb. v platném znění jsou shrnuta v tab. 1. Ve vztahu k opožděnému vyhlášení se jako nejvíce problematický jeví souběh dvou podmínek pro vyhlášení smogové situace a regulace, kdy je dle zákona možné vyhlásit smogovou situaci nebo regulaci až po 25, resp. 49 hodinách překročení prahové hodnoty pro 24hodinové koncentrace PM<sub>10</sub>. Zároveň musí být splněna podmínka stoupajících trendů 12hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> v uplynulých 6 hodinách alespoň na polovině reprezentativních stanic v dané oblasti. Přitom průběh situací meteorologicky nepříznivých pro rozptýl znečišťujících látek v ovzduší je obvykle doprovázen poměrně rychlým vzestupem průměrných 24hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> nad prahové hodnoty v počátcích takové situace. Při jejím delším trvání pak následně dochází, v závislosti na konkrétním vývoji meteorologických podmínek (především při nízkých průměrných rychlostech větru, nízkých teplotách, klesající

Tab. 1 Stávající pravidla smogového varovného a regulačního systému pro PM<sub>10</sub> podle přílohy č. 6 zákona č. 201/2012 Sb. a ČHMÚ (2013a).

Table 1. Current rules for operation of the Smog Warning and Regulatory System for PM<sub>10</sub> according to Annex 6 of Act No. 201/2012

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Překročení prahové hodnoty                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Doplňující podmínka                                                                                                                                   |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vyhlášení | Smogová situace                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Alespoň na <b>jedné</b> měřící <b>lokalitě</b> reprezentativní pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km <sup>2</sup> překročila 24h průměrná koncentrace částic PM <sub>10</sub> hodnotu <b>100 µg.m<sup>-3</sup> ve dvou po sobě následujících dnech, tj. ve 25 po sobě následujících hodinách</b> .          | Trend 12h koncentrací PM <sub>10</sub> je za posledních 6 hodin rostoucí alespoň na <b>polovině</b> měřících stanic reprezentativních pro dané území. |
|           | Regulace                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Alespoň na <b>polovině</b> měřících <b>lokalit</b> reprezentativních pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km <sup>2</sup> překročila 24h průměrná koncentrace částic PM <sub>10</sub> hodnotu <b>150 µg.m<sup>-3</sup> ve třech po sobě následujících dnech, tj. ve 49 po sobě následujících hodinách</b> * . |                                                                                                                                                       |
| Odvolání  | Smogová situace je ukončená, pokud na žádné měřící stanici reprezentativní pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km <sup>2</sup> není překročena žádná prahová hodnota, přičemž tento stav trvá nepřetržitě alespoň 12 hodin (tj. <i>klouzavý 24h průměr PM<sub>10</sub> je nižší než příslušná prahová hodnota alespoň ve dvanácti po sobě následujících hodinách</i> ) a na základě meteorologické předpovědi není očekáváno obnovení meteorologických podmínek podmiňujících smogovou situaci v průběhu 48 hodin následujících po poklesu úrovní znečištění pod prahové hodnoty.<br>Časový <b>interval 12 hodin se zkracuje až na 3 hodiny</b> v případě, že meteorologické podmínky nelze označit jako podmiňující smogovou situaci a podle meteorologické předpovědi je téměř vyloučeno, že v průběhu nejbližších 48 hodin takové podmínky opět nastanou. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                       |

\* Kurzívou je označen v praxi používaný výklad ČHMÚ a MŽP.



Obr. 1 Smogová situace v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka v polovině února 2013. Zobrazeny jsou klouzavé 24h průměry  $PM_{10}$  počítané z verifikovaných dat. „smogová situace“ a „regulace“ značí skutečně vyhlášené situace (na základě operativních dat). „smog. NOVELA 12h“ a „reg. NOVELA 12h“ vyznačují, jak by podle verifikovaných dat probíhalo vyhlášení na základě navrhované novely zákona č. 201/2012 Sb. s využitím 12h průměrů. „IPH“ a „RPH“ je informativní a regulační prahová hodnota.

Fig. 1. Smog period in the agglomeration of Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek region, excluding the Třinec area, in the middle of February 2013. 24-hour moving averages of verified  $PM_{10}$  data are displayed. 'Smogová situace' and 'regulace' denotes smog situation and regulation as announced according to the operational data. 'Smog. NOVELA 12h' and 'reg. NOVELA 12h' shows, smog situation and regulation as it would have been announced according to the draft amendment of Act No. 201/2012 with the use of 12-h moving averages. 'IPH' and 'RPH' are the informative and regulatory thresholds respectively.

hranici inverze, resp. jejím nenarušení), k nepříliš výraznému kolísání koncentrací  $PM_{10}$ , přičemž pravděpodobnost splnění podmínky rostoucích trendů není příliš vysoká (ČHMÚ, 2013b).

Další, i když ne tak výrazné, zpoždění ve vyhlásování a odvolávání je způsobeno vlastním použitím klouzavých 24hodinových průměrů. Tyto průměry sice žádoucím způsobem odstraní krátkodobé výkyvy jednohodinových koncentrací a dají se jednoduše porovnat s denním imisním limitem  $PM_{10}$ . Na druhou stranu reagují na vývoj jednohodinových koncentrací až s 12–18hodinovým zpožděním (obr. 2). To se projevuje zejména při odvolávání situací.

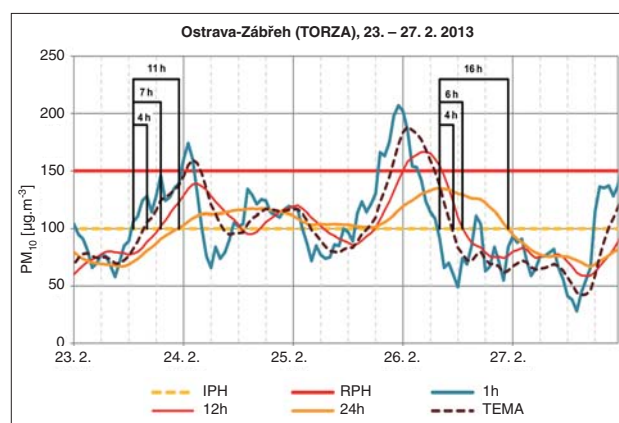
### 3. RŮZNÉ VARIANTY VYHLAŠOVÁNÍ SVRS

Jak bylo uvedeno výše, nejproblematictější z hlediska pozdního vyhlásování smogových situací, resp. regulací je souběh požadavku na dvou, resp. tří denní překročení prahové hodnoty spolu s požadavkem na růst trendů na polovině stanic v posledních 6 hodinách. Vzhledem k tomu, že pravidla SVRS jsou ukořtena v zákoně o ochraně ovzduší a jeho změna by byla poměrně náročná, byly nejprve zkoušeny odlišné interpretace dvou, resp. tří denního překročení a požadavku rostoucích trendů (varianty  $24h T_{12} \geq x$  a  $24h NP T_{12} \geq x$ ), u kterých se dalo předpokládat, že by byly aplikovatelné v rámci stávající legislativy. Dále byly v návaznosti na práci Kedera (2013) vyzkoušeny možné náhrady klouzavých 24hodinových průměrů koncentrací  $PM_{10}$  klouzavými exponenciálními filtry (varianty EMA, TEMA a KAMA). Jednotlivé varianty jsou popsány níže a přehledně shrnuty v tabulce 2. Ve všech případech se provádělo zaokrouhlení jednohodinových dat na celá čísla před výpočtem klouzavého průměru a stejně tak po jeho vypočtení.

Tab. 2 Přehled vyzkoušených variant vyhlásování SVRS.

Table 2. Summary of the scenarios tested for the announcement of smog situations and regulations.

| Varianta                | Shlazení                                                            | Tolerance trendu       | Požadovaná doba překročení pro vyhlášení smogové situace/regulace |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 24h $T_{12} \geq 0$     | klouzavý 24h průměr                                                 | 0                      | 25/49                                                             |
| 24h $T_{12} \geq -1$    |                                                                     | -1                     |                                                                   |
| 24h $T_{12} \geq -2$    |                                                                     | -2                     |                                                                   |
| 24h NP $T_{12} \geq 0$  | 2(3) po sobě následující nepřekrývající se 24h průměry              | 0                      | 2/3                                                               |
| 24h NP $T_{12} \geq -1$ |                                                                     | -1                     |                                                                   |
| 24h NP $T_{12} \geq -2$ |                                                                     | -2                     |                                                                   |
| EMA                     | exponenciální klouzavý filtr                                        | trendy se nezhodnotily | 25/49                                                             |
| TEMA                    | trojnásobný exponenciální klouzavý filtr                            |                        |                                                                   |
| KAMA $m=24, p=2$        | Kaufmanův adaptabilní klouzavý filtr (různé koeficienty $m$ a $p$ ) |                        |                                                                   |
| KAMA $m=24, p=1$        |                                                                     |                        |                                                                   |
| KAMA $m=72, p=1$        |                                                                     |                        |                                                                   |



Obr. 2 Zpoždění různých typů filtrů oproti 1h průměrům  $PM_{10}$ . 12h (24h) je klouzavý 12(24)hodinový průměr, TEMA je trojnásobný exponenciální filtr; IPH (RPH) je informativní (regulační) prahová hodnota.

Fig. 2. Time delay of different filters with respect to the development of 1-h averages of  $PM_{10}$ . 12h and 24h denote 12-h and 24-h moving averages. TEMA stands for Triple Exponential Moving Average, IPH (RPH) for the informative (regulatory) thresholds.

né v rámci stávající legislativy. Dále byly v návaznosti na práci Kedera (2013) vyzkoušeny možné náhrady klouzavých 24hodinových průměrů koncentrací  $PM_{10}$  klouzavými exponenciálními filtry (varianty EMA, TEMA a KAMA). Jednotlivé varianty jsou popsány níže a přehledně shrnuty v tabulce 2. Ve všech případech se provádělo zaokrouhlení jednohodinových dat na celá čísla před výpočtem klouzavého průměru a stejně tak po jeho vypočtení.

#### 3.1 Snaha o pokrok v mezích zákona

$24h T_{12} \geq x$

Tato varianta se od stávajících pravidel liší pouze v tom, že trend 12hodinových koncentrací  $PM_{10}$  je považován z pohledu legislativy za rostoucí, pokud je větší nebo roven  $x$ . Cílem bylo zamezit případům, kdy k vyhlášení nedojde v důsledku mírného kolísání trendu. Předpokládalo se, že uvedenou změnu by bylo možné odůvodnit nejistotou měření, která

v případě automatického měření koncentrací  $PM_{10}$  metodou radiometrie (absorpce beta záření) činí podle ČHMÚ (2014) u metody FH62IR 20 % (u metody ESA-PM101M uvedena není).

$$24h NP T_{12} \geq x$$

V této variantě byla vyzkoušena jiná interpretace požadovaného dvou, resp. třídního překročení prahové hodnoty. Zatímco ve stávající praxi (ČHMÚ 2013a) se za dvou, resp. třídní překročení považuje případ, kdy klouzavý 24hodinový průměr překročí prahovou hodnotu ve 25, resp. 49 po sobě jdoucích hodinách, v tomto scénáři se pracovalo se dvěma, resp. třemi po sobě jdoucími nepřekrývajícími se 24hodinovými průměry (NP) (obr. 3). Cílem bylo omezit případy, kdy nedojde k vyhlášení v důsledku ojedinělého poklesu 24hodinového průměru pod prahovou hodnotu. Stejně jako ve variantě  $24h T_{12} \geq x$  se zároveň zkoušely různě přísné požadavky na rostoucí trend 12hodinových koncentrací (tab. 2).

### 3.2 Exponenciální filtry

V následujících scénářích EMA, TEMA a KAMA bylo testováno nahrazení 24hodinových klouzavých průměrů jiným filtrem s rychlejší odezvou na změny jednohodinových koncentrací. Ani v jednom případě se nehodnotily trendy, pouze bylo požadováno překročení prahové hodnoty ve 25, resp. 49 po sobě jdoucích hodinách.

*EMA (Exponential Moving Average)*

V tomto scénáři byl pro vyhlazování jednohodinových koncentrací použit exponenciální filtr EMA. Vyhlazená hodnota  $F_t$  v čase  $t$  je definována následovně:

$$F_t = C_t \cdot a_t + F_{t-1} \cdot (1 - a_t), \quad (1)$$

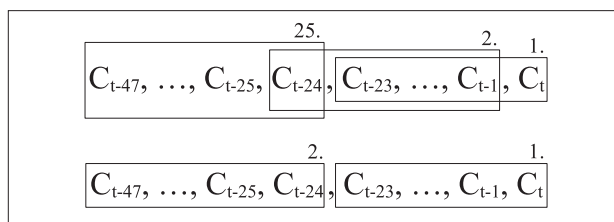
kde  $C_t$  je jednohodinová koncentrace v čase  $t$ ,  $a_t$  je vyhlazovací konstanta. Exponenciální filtr se podle Kaufmana (1995) blíží klasickému klouzavému průměru s délkou okna  $n$ , pokud je  $a_t = 2/(n+1)$ . 24hodinovému průměru se tak blíží EMA s  $a_t = 0,08$ . Tato hodnota  $a_t$  byla použita v počítaném scénáři.

*TEMA (Triple Exponential Moving Average)*

V tomto scénáři byl pro vyhlazování jednohodinových koncentrací použit trojnásobný exponenciální filtr TEMA navržený Mulloyem (1994). Jeho definice je následující:

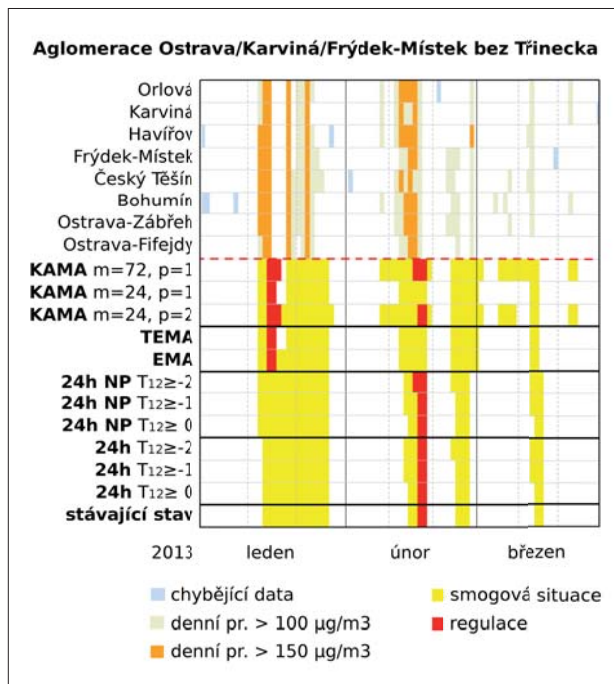
$$TEMA = 3 \cdot EMA - 3 \cdot EMA(EMA) + EMA(EMA(EMA)), \quad (2)$$

TEMA může v některých případech nabývat záporných hodnot. V námi pozorovaných případech se ukázalo, že je tomu možné zamezit aplikací filtru na logaritmus jednohodinových koncentrací, nebo jednoduchým požadavkem, že



Obr. 3 Různé interpretace dvoudenního překročení informativní prahové hodnoty: 25 po sobě jdoucích klouzavých 24h průměrů (nahore) a dva po sobě následující nepřekrývající se 24h průměry (dole).

Fig. 3. Two different interpretations of two day's exceedance of the informative threshold value: 25 consecutive 24-h moving averages (top) and two consecutive non-overlapping 24-h averages (bottom).



Obr. 4 Výsledky pro jednotlivé varianty vyhlazování SVRS (leden až březen 2013). Denní průměry na stanicích jsou počítány od 0:00 do následující 0:00 UTC. Smogové situace a regulace jsou vykreslovány s přesností na dny (tedy den, ve kterém se vyskytl alespoň jedna hodina se situací, je vybarven). Scénáře jsou vysvětleny v tab. 2.

Fig. 4. Comparison of different scenarios of the announcement of smog situations and regulations (Jan–Mar 2013). Daily averages for stations (top) are calculated from 0 to 0 UTC. Smog situations (yellow) and regulations (red) are plotted with daily precision (i.e. when at least 1 hour in the day is marked as smog situation/regulation the whole day is coloured). 'Stávající stav' denotes situations announced according to the current legislation.

Tab. 3 Návrh nových pravidel smogového varovného a regulačního systému pro  $PM_{10}$  (Návrh novely přílohy č. 6 zákona č. 201/2012 Sb.)

Table 3. New proposed rules for the Smog Warning and Regulatory System for  $PM_{10}$  (Proposed amendments of Annex 6 of Act No. 201/2012.)

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Za jakých podmínek                                                                                                                                                                                                                        | Doplňující podmínka                                                                                                                                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vyhlášení | Smogová situace                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Alespoň na <b>polovině*</b> měřících <b>lokalit</b> reprezentativních pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km <sup>2</sup> <b>překročily</b> klouzavé <b>12h průměry</b> PM <sub>10</sub> hodnotu <b>100 µg.m<sup>-3</sup></b> . | Na základě vyhodnocení předpovědi meteorologických podmínek a imisní situace se <b>během následujících 24 hodin nepředpokládá pokles koncentrace pod prahovou hodnotu.</b> |
|           | Regulace                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Alespoň na <b>polovině*</b> měřících <b>lokalit</b> reprezentativních pro úroveň znečištění v oblasti minimálně 100 km <sup>2</sup> <b>překročily</b> klouzavé <b>12h průměry</b> PM <sub>10</sub> hodnotu <b>150 µg.m<sup>-3</sup></b> . |                                                                                                                                                                            |
| Odvolání  | Smogová situace nebo regulace je ukončená, pokud na žádné měřící lokalitě reprezentativní pro úroveň znečištění v daném území není překročena odpovídající prahová hodnota, přičemž tento stav trvá nepřetržitě alespoň 12 hodin a na základě meteorologické předpovědi není v průběhu 48 hodin následujících po poklesu úrovně znečištění pod příslušnou prahovou hodnotu očekáván opětovný nárůst koncentrací nad odpovídající prahovou hodnotu.<br>Časový <b>interval 12 hodin se zkracuje až na 3 hodiny</b> v případě, že meteorologické podmínky nelze označit jako podmiňující smogovou situaci nebo regulaci a podle meteorologické předpovědi je téměř vyloučeno, že v průběhu 48 hodin následujících po poklesu úrovně znečištění pod příslušnou prahovou hodnotu dojde k jejímu opětovnému nárůstu nad tuto prahovou hodnotu. |                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                            |

\* Pokud jsou pro danou oblast reprezentativní právě dvě stanice, vyžaduje se překročení na obou.

vyhlazená hodnota musí být větší nebo rovna 1. Vzhledem k tomu, že první postup může někdy vést ve srovnání se standardním filtrem TEMA k výkyvům vyhlazených hodnot, byl použit druhý postup, který je pro naše účely postačující, protože koncentrace blízké nule pro nás nejsou významné.

### KAMA (Kaufman Adaptive Moving Average)

V tomto scénáři byl použit exponenciální filtr s proměnnou vahou, popsaný např. Kaufmanem (1995). KAMA je definován rovnicí (1) s tím rozdílem, že hodnota vyhlazovací konstanty  $a_t$  závisí na proměnlivosti (volatilitě) dat:

$$a_t = \left( ER \cdot (a_{fast} - a_{slow}) + a_{slow} \right)^p, \quad (3)$$

Pro čistě rostoucí (klesající) koncentrace, je  $ER$  rovno jedné a  $a_t = a_{fast}^p$ . Naopak pro rozkolísaná data se  $ER$  blíží k nule a  $a_t \approx a_{slow}^p$ .  $ER$  je přitom definováno následovně:

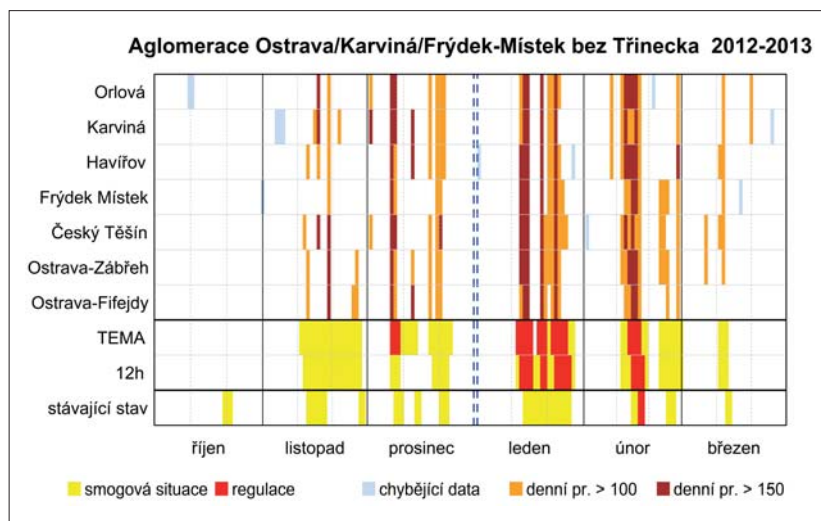
$$ER = \frac{(C_t - C_{t-m+1})}{\sum_{i=0}^{m-2} (C_{t-i} - C_{t-i-1})}, \quad (4)$$

Zde opět  $C_t$  je jednodinová koncentrace v čase  $t$  a  $m$  je šířka okna použitého pro výpočet  $ER$ . V našich scénářích bylo pro výpočet  $ER$  počítáno s délkou okna 24 nebo 72 hodin. Dále bylo zvoleno  $a_{fast} = 0,667$ , což odpovídá dvouhodinovému vyhlazovacímu oknu ( $n = 2$ ), a  $a_{slow} = 0,08$ , což odpovídá 24hodinovému vyhlazovacímu oknu ( $n = 24$ ). Zároveň byly testovány dvě hodnoty exponentu  $p$ :  $p = 2$ , jak je použito v Kaufmanovi (1995), vede ve skutečnosti k délce vyhlazovacího okna 3,5 pro čistě monotónní data ( $ER = 1$ ) a délce okna 311 pro velmi proměnlivá (volatilní) data ( $ER = 0$ ). Naopak  $p = 1$  zachovává dvou, resp. 24hodinové délky vyhlazovacího okna. Uvedené varianty jsou shrnuty v tab. 2.

### 3.3 Výsledky jednotlivých variant

Jednotlivé varianty byly namodelovány pro 4 oblasti SVRS (aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek (O/K/F-M) bez Třinecka, Třinecko, zónu Moravskoslezsko a Ústecký kraj) a zimní smogové sezony (říjen–březen) 2010/2011, 2011/2012 a 2012/2013. Výsledky jednotlivých scénářů pro aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka a období leden–březen 2013 jsou na obrázku 4.

Souhrnně lze říci, že zmírnění požadavku na trend 12hodinových koncentrací vedlo pouze v několika málo případech k urychlení vyhlášení smogové situace či regulace. Využití dvou, resp. tří nepřekrý-



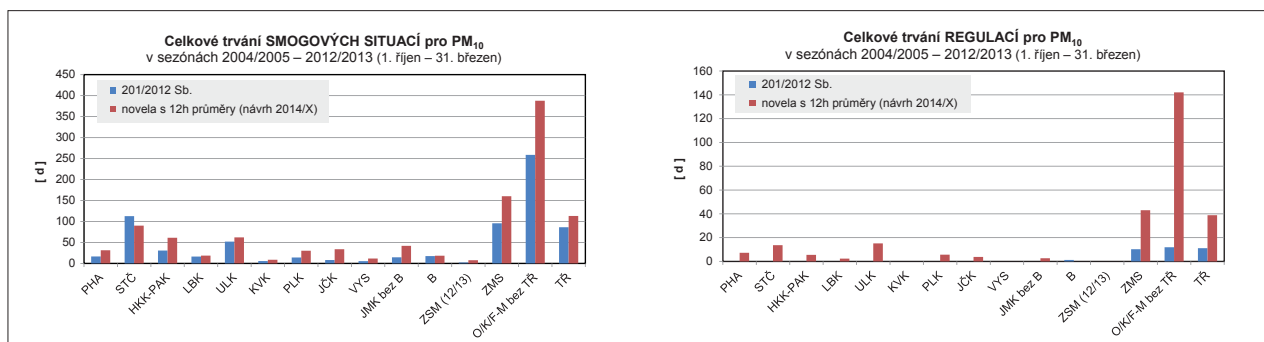
Obr. 5 Výsledky pro jednotlivé varianty vyhlášení SVRS (říjen 2012 až březen 2013). Denní průměry na stanicích jsou počítány od 0:00 do 0:00 UTC. Smogové situace a regulace jsou vykreslovány s přesností na dny (tedy den, ve kterém se vyskytla alespoň jedna hodina se situací, je vybarven).

Fig. 5. Comparison of smog situations and regulations announced according to the current legislation 'Soucasnost' and how it would have been announced according to the proposed amendment when a triple exponential filter (TEMA) or 12-h moving averages were used (12h) (Jan–Mar 2013). Daily averages for stations (top) are calculated from 0 to 0 UTC. Smog situations (yellow) and regulations (red) are plotted with daily precision (i.e. when at least 1 hour in the day is marked as smog situation/regulation the whole day is coloured).

Tab. 4 Srovnání počtu a délky trvání smogových situací a regulací, jak by byly vyhlášeny podle platné legislativy (zákon 201/2012 Sb.) a podle jeho navržené novely. Trvání smogových situací v sobě zahrnuje trvání regulací. Jsou uváděny počty a trvání pro úhrn sezon 2004/2005–2012/2013 od 1. října do 31. března.  
Table 4. Comparison of the number and duration of smog situation and regulation, as they would have been announced according to the current legislation (Act No. 201/2012) and the proposed amendment. Regulations are included in the duration of smog situations. Season is defined from October 1st to March 31st of the next year.

| Oblast SVRS pro PM <sub>10</sub>                       | Název | Zkratka        | Celkové počty a délky trvání v sezónách 2004/2005–2012/2013 |            |                      |            |                 |            |                      |            |                 |            |
|--------------------------------------------------------|-------|----------------|-------------------------------------------------------------|------------|----------------------|------------|-----------------|------------|----------------------|------------|-----------------|------------|
|                                                        |       |                | Smogové situace                                             |            |                      |            |                 | Regulace   |                      |            |                 |            |
|                                                        |       |                | Stávající zákon                                             |            | Novela s 12h průměry |            | Stávající zákon |            | Novela s 12h průměry |            | Stávající zákon |            |
|                                                        |       |                | Počet                                                       | Trvání [h] | Počet                | Trvání [h] | Počet           | Trvání [h] | Počet                | Trvání [h] | Počet           | Trvání [h] |
| Agglomerace Praha                                      |       | PHA            | 7                                                           | 402        | 8                    | 753        | 0               | 0          | 2                    | 174        |                 |            |
| Zóna Střední Čechy                                     |       | STČ            | 40                                                          | 2 708      | 16                   | 2 165      | 0               | 0          | 3                    | 328        |                 |            |
| Královéhradecký kraj a Pardubický kraj                 |       | HKK-PAK        | 8                                                           | 736        | 14                   | 1 469      | 0               | 0          | 1                    | 132        |                 |            |
| Liberecký kraj                                         |       | LBK            | 10                                                          | 392        | 7                    | 450        | 0               | 0          | 1                    | 56         |                 |            |
| Ústecký kraj                                           |       | ULK            | 18                                                          | 1 248      | 12                   | 1 492      | 0               | 0          | 3                    | 363        |                 |            |
| Karlovarský kraj                                       |       | KVK            | 2                                                           | 136        | 4                    | 212        | 0               | 0          | 0                    | 0          |                 |            |
| Plzeňský kraj                                          |       | PLK            | 5                                                           | 342        | 10                   | 729        | 0               | 0          | 1                    | 136        |                 |            |
| Jihočeský kraj                                         |       | JČK            | 3                                                           | 193        | 12                   | 813        | 0               | 0          | 2                    | 91         |                 |            |
| Kraj Vysočina                                          |       | VYS            | 3                                                           | 130        | 3                    | 279        | 0               | 0          | 0                    | 0          |                 |            |
| Jihomoravský kraj bez Brna                             |       | JMK bez B      | 8                                                           | 350        | 11                   | 1 008      | 0               | 0          | 1                    | 64         |                 |            |
| Agglomerace Brno                                       |       | B              | 10                                                          | 422        | 5                    | 445        | 1               | 30         | 0                    | 0          |                 |            |
| Zóna Střední Morava *                                  |       | ZSM            | 2                                                           | 57         | 2                    | 185        | 0               | 0          | 0                    | 0          |                 |            |
| Zóna Moravskoslezsko                                   |       | ZMS            | 36                                                          | 2 299      | 35                   | 3 843      | 5               | 246        | 9                    | 1 033      |                 |            |
| Agglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka |       | O/K/F-M bez TR | 72                                                          | 6 211      | 56                   | 9 306      | 5               | 285        | 31                   | 3 409      |                 |            |
| Třinecko                                               |       | TR             | 26                                                          | 2 069      | 24                   | 2 718      | 4               | 266        | 9                    | 932        |                 |            |
| ČR celkem                                              |       |                | 250                                                         | 17 695     | 231                  | 27 082     | 15              | 827        | 70                   | 7 206      |                 |            |

\* V Zóně Střední Morava byly v provozu všechny reprezentativní stanice až od sezony 2012/2013.



Obr. 6 Srovnání celkového trvání smogových situací (vlevo) a regulací (vpravo) pro  $PM_{10}$  v sezónách 2004/2005–2012/2013 (1. říjen až 31. březen) zpětně napočítaných podle stávajících pravidel zákona č. 201/2012 Sb. a navržené novely. V Zóně Střední Morava (ZSM) byly v provozu všechny reprezentativní stanice až od sezony 2012/2013. Významy zkratk pro jednotlivé oblasti jsou uvedeny v tab. 4.

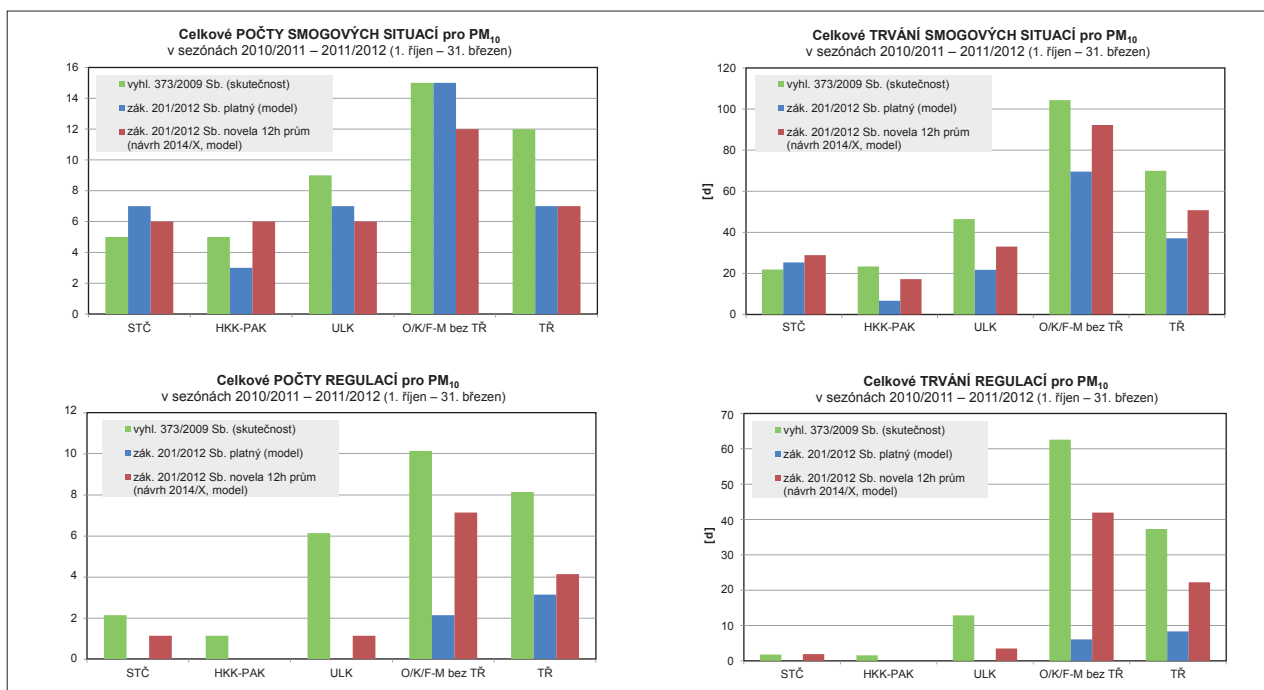
Fig. 6. Comparison of the total duration of smog situation (left) and regulation (right) for  $PM_{10}$  in the seasons 2004/2005 – 2012/2013 (Oct 1<sup>st</sup> – Mar 31<sup>st</sup>). Analysis according to current legislation (Act No. 201/2012, in blue) and its proposed amendment (red). Data for ZSM represent only the 2012/2013 season. Abbreviations for the SWRS areas are explained in Table 4.

vajících se 24hodinových průměrů vedlo, obzvláště v kombinaci s mírnějšími požadavky na trendy, k jistému zlepšení, zvláště v oblastech s malým počtem stanic (Třinecko), ale například v lednu 2013 by nebyla ani v tomto případě vyhlášena v aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka regulace (obr. 4). Exponenciální filtry reagovaly lépe na vývoj koncentrací, nicméně ve vyhlásování přetrvávalo zpoždění dané požadavkem na překročení prahové hodnoty ve 25, resp. 49 po sobě jdoucích hodinách. Na základě provedených srovnání se jako nejslibnější jevil filtr *TEMA*.

#### 4. NÁVRH NOVELY PRAVIDEL SVRS PRO $PM_{10}$

Vzhledem k tomu, že žádný z výše uvedených scénářů nevedl k uspokojivým výsledkům, bylo v případě vyhlásování

navrženo vypuštění podmínky na překročení prahové hodnoty ve dvou, resp. třech po sobě jdoucích dnech a její nahrazení podmínkou jednohodinového překročení odpovídající prahové hodnoty alespoň na polovině reprezentativních stanic. Zároveň má být splněno, že během následujících 24 hodin není očekáván pokles koncentrací pod tuto hodnotu. Byly posuzovány dvě varianty vyhlazování, a to 12hodinové průměry a filtr *TEMA*. Podrobná analýza byla provedena pro stejné oblasti SVRS a stejná období, jak bylo uvedeno výše. Vzhledem k tomu, že se pracovalo s historickými daty, vyhodnocoval se namísto předpovědi rozptylových podmínek a imisní situace skutečný vývoj koncentrací, v tom smyslu se jednalo o simulaci ideální (100% přesné) předpovědi. Při vyhlásování nebyly kontrolovány kon-



Obr. 7 Srovnání počtu a délek skutečně vyhlášených signálů upozornění a regulace podle tehdy platné vyhlášky č. 373/2009 Sb. a smogových situací a regulací zpětně namodelovaných podle stávajících pravidel zákona č. 201/2012 Sb. a návrhu jeho novely. Významy zkratk pro oblasti SVRS jsou uvedeny v tab. 4.

Fig. 7. Comparison of the number (left) and total duration (right) of smog situation (top) and regulation (bottom) for  $PM_{10}$  in the seasons 2000/2001 and 2011/2012. In green are the situations announced according to Decree No. 373/2009 Coll., which was in force at that time. The situation as it would had been announced according to Act No. 201/2012 is in blue and according to its proposed amendment is in red. Abbreviations for the SWRS areas are explained in Table 4.

centrace ve všech 24 následujících hodinách, ale pouze v poslední 24., a to z toho důvodu, aby se zamezilo oddálení vyhlášení v důsledku ojedinělého poklesu koncentrací pod prahovou hodnotu. Při ověřování podmínek pro odvolání se sledovalo, zda ve všech 48 hodinách, od poklesu koncentrací pod prahovou hodnotu, tyto pod ní setrvávají. Při výpočtu scénářů se počítalo se seznamem reprezentativních stanic, zveřejněném ve Věstníku MŽP 9-10/2013. (tj. oproti seznamu ze září 2012 se pro aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka nebrala v potaz stanice Bohumín).

Výsledky ukázaly, že použití filtru *TEMA* vedlo zpravidla k včasnějšímu vyhlášení situací. V některých případech nebyla situace při použití 12hodinového průměru vyhlášena vůbec (obr. 5). Pouze v ojedinělých případech tomu bylo naopak, což je dáno vyšší proměnlivostí exponenciálního filtru. Na základě těchto výsledků byla Odboru ochrany ovzduší MŽP navržena nová pravidla vyhlášení smogových situací a regulací pro  $PM_{10}$ , přičemž bylo doporučeno využití trojnásobného exponenciálního filtru *TEMA*. Zároveň bylo navrženo zpřesnění formulace podmínek pro odvolání regulace a smogové situace. Právní odbor MŽP následně doporučil využití 12hodinových klouzavých průměrů na místo *TEMA*, a to z důvodu větší obecné srozumitelnosti. Výsledná pravidla vyhlášení a odvolávání situací pro  $PM_{10}$ , u nichž lze předpokládat, že budou použita v novele přílohy č. 6 zákona 201/2012 Sb., jsou shrnuta v tab. 3. Jistou výhodou použití 12hodinových průměrů je jejich návaznost na stávající prahové hodnoty, které byly navrženy pro 24hodinové průměry. Pokud totiž dojde k vyhlášení smogové situace, resp. regulace podle nově navržených pravidel, je téměř jisté, že během následujících 12 hodin přesáhnou také 24hodinové průměry alespoň na polovinu reprezentativních stanic prahovou hodnotu 100, resp.  $150 \mu g \cdot m^{-3}$ . V tom smyslu se jedná o včasné vyhlášení podle prahové hodnoty vztažené k 24hodinovým průměrům.

#### 4.1 Srovnání stávajících pravidel a navržené novely

Na obr. 1 je ukázáno urychlení vyhlášení podle nově navržených pravidel. V tab. 4 je dále uvedeno srovnání zpětně namodelovaného počtu a délek smogových situací a regulací podle stávající legislativy a navržené novely. Srovnání délek je pro přehlednost uvedeno také na obr. 6. Období od roku 2004 bylo zvoleno z toho důvodu, že s výjimkou stanic na území zóny Střední Morava byly ostatní reprezentativní stanice během celé doby v provo-

Tab. 6 Počty regulací (P) a délky jejich trvání v hodinách (T) modelované podle navržené novely přílohy č. 6 zákona č. 201/2012 Sb. v oblastech a s využitím stanic SVRS uvedených ve Věstníku MŽP č. 9–10/2013. Proškrtnutím jsou označeny sezony, kdy v dané oblasti ještě neměřily všechny reprezentativní stanice. Členění na zóny a aglomerace je dáno přílohou č. 3 zákona č. 201/2012 Sb. Sezonou se myslí období od 1. října do 31. března následujícího roku. Pokud byla regulace vyhlášena, resp. trvala, i mimo toto období, jsou odpovídající počty a trvání uvedeny za znaménkem plus. (Tyto případy nastaly výlučně v měsíci dubnu.)

Table 6. Number of regulations (P) and their lengths in hours (T) as simulated according to the proposed amendment of Annex 6 of Act No. 201/2012 Sb. in the SVRS regions and with SVRS stations as specified in the Bulletin of the Ministry of Environment No. 9–10/2013. A dash denotes seasons when all the representative stations were not in operation in a particular region. Zones and agglomerations are defined in Annex 3 of Act No. 201/2012 Sb. A season is defined from October 1<sup>st</sup> to March 31<sup>st</sup> of the next year. If the modelled smog situation started / lasted outside this season, the respective numbers and durations are given after the plus sign.

| Kód zóny / Agglomeration                                                                  | Oblast SVRS                            | 04/05    |            | 05/06     |              | 06/07    |          | 07/08    |           | 08/09    |            | 09/10     |              | 10/11    |            | 11/12     |              | 12/13    |            | Suma 04/05–12/13 |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------|------------|-----------|--------------|----------|----------|----------|-----------|----------|------------|-----------|--------------|----------|------------|-----------|--------------|----------|------------|------------------|--------------|
|                                                                                           |                                        | P        | T          | P         | T            | P        | T        | P        | T         | P        | T          | P         | T            | P        | T          | P         | T            | P        | T          | P                | T            |
| CZ01                                                                                      | Agglomeration Praha                    | 0        | 0          | 2         | 174          | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 2                | 174          |
| CZ02                                                                                      | Zóna Střední Čechy                     | 0        | 0          | 1         | 230          | 0        | 0        | 0        | 0         | 1        | 52         | 0         | 0            | 0        | 0          | 1         | 46           | 0        | 0          | 3                | 328          |
| CZ05                                                                                      | Královéhradecký kraj a Pardubický kraj | 0        | 0          | 1         | 132          | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 1                | 132          |
|                                                                                           | Liberecký kraj                         | 0        | 0          | 1         | 56           | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 1                | 56           |
| CZ04                                                                                      | Ústecký kraj                           | 0        | 0          | 2         | 279          | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 1        | 84         | 0         | 0            | 0        | 0          | 3                | 363          |
|                                                                                           | Karlovarský kraj                       | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0                | 0            |
| CZ03                                                                                      | Plzeňský kraj                          | 0        | 0          | 1         | 136          | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 1                | 136          |
|                                                                                           | Jihočeský kraj                         | 0        | 0          | 2         | 91           | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 2                | 91           |
| CZ06Z                                                                                     | Kraj Vysočina                          | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0                | 0            |
|                                                                                           | Jihomoravský kraj bez Brna             | 0        | 0          | 1         | 64           | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 1                | 64           |
| CZ06A                                                                                     | Agglomeration Brno                     | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0          | 0                | 0            |
| CZ07                                                                                      | Zóna Střední Morava                    | ---      | ---        | ---       | ---          | ---      | ---      | ---      | ---       | ---      | ---        | ---       | ---          | ---      | ---        | ---       | ---          | ---      | ---        | 0                | 0            |
| CZ08Z                                                                                     | Zóna Moravskoslezsko                   | 1        | 70         | 2         | 392          | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 2         | 158          | 1        | 49         | 3         | 364          | 0        | 0          | 9                | 1 033        |
|                                                                                           | Agglomeration O/K/F-M bez Třinecka     | 3        | 264        | 5         | 868          | 0        | 0        | 1        | 62        | 3        | 240        | 8         | 679          | 5        | 473        | 2         | 534          | 4        | 289        | 31               | 3 409        |
| CZ08A                                                                                     | Třinecko                               | 0        | 0          | 0         | 0            | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 4         | 350          | 2        | 138        | 2         | 396          | 1        | 48         | 9                | 932          |
| <b>ČR CELKEM</b>                                                                          |                                        | <b>4</b> | <b>334</b> | <b>21</b> | <b>2 625</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>62</b> | <b>5</b> | <b>339</b> | <b>15</b> | <b>1 296</b> | <b>9</b> | <b>744</b> | <b>10</b> | <b>1 469</b> | <b>5</b> | <b>337</b> | <b>70</b>        | <b>7 206</b> |
| Počet oblastí SVRS s platnými daty, ve kterých nebyla vyhlášena ani jedna smogová situace |                                        | 12       |            | 4         |              | 14       |          | 13       |           | 12       |            | 11        |              | 10       |            | 10        |              | 13       |            |                  |              |

zu. Z tabulky je patrné, že počet smogových situací v některých oblastech narostl (např. Plzeňský kraj a Jihočeský kraj a zóna Střední Morava) a jiných naopak poklesl (zejména Středočeský kraj a aglomerace O/K/F-M bez Třinecka). Nicméně jejich celkové délky trvání až na Středočeský kraj narostly. V případě regulací narostl ve všech případech, s výjimkou aglomerace Brno, jak jejich počet, tak souhrnná délka trvání. V tab. 5, resp. 6 jsou pak pro jednotlivé topné sezony uvedeny počty a délky trvání smogových situací (regulací) zpětně namodelovaných podle navržené novely. Pro srovnání s údaji, které byly získány podle platného zákona, odkazujeme čtenáře na předchozí publikaci autorů (Juras a Vlček 2013).

Na obr. 7 jsou pro sezony 2010/X–2011/III a 2011/X–2012/III srovnány celkové počty a trvání smogových situací a regulací zpětně namodelovaných podle stávající legislativy a navržené novely se skutečně vyhlášenými počty a délkami signálů upozornění a regulace podle v té době platné vyhlášky č. 373/2009 Sb. Uvedeny jsou pouze oblasti, ve kterých tehdy platil Ústřední regulační řád. Signály se v té době vydávaly pouze pro Pardubický kraj, ne pro celou oblast Královéhradeckého a Pardubického kraje. Z obrázku je patrné, že navržená novela je z hlediska počtu a délky trvání regulací kompromisem mezi tehdy platnými pravidly Ústředního regulačního řádu a současným zákonem.

## 5. ZÁVĚR

Stávající pravidla pro vyhlášení smogových situací a regulací pro suspendované částice  $PM_{10}$  vedou k opožděnému vyhlášení a odvolávání smogových situací a regulací. Veřejnost tak není včas informována o nárůstu koncentrací na prahové hodnoty. Ze stejného důvodu nejsou efektivně vyhlášeny regulace zdrojů znečištění ovzduší. Navržená pravidla tento nedostatek odstraňují. Nově je požadováno pouze jednohodinové překročení prahové hodnoty na polovině reprezentativních stanic a zároveň se vyhodnocuje předpověď rozptylových podmínek, resp. koncentrací na následujících 24 hodin. Počítá se s využitím 12hodinových namísto 24hodinových klouzavých průměrů.

Novela zákona o ochraně ovzduší by měla být předložena vládě a parlamentu ČR v průběhu roku 2015 a její platnost se předpokládá nejpозději od 1. 1. 2016. V případě, že by měla vejít v platnost uprostřed topné sezony, počítá se s odložením účinnosti novely přílohy č. 6 na teplou část roku, aby pravidla nebyla měněna uprostřed sezony.

Tab. 5 Počty smogových situací (P) a délky jejich trvání v hodinách (T) modelované podle navržené novely přílohy č. 6 zákona č. 201/2012 Sb. v oblastech a s využitím stanic SVRS uvedených ve Věstníku MŽP č. 9–10/2013. Trvání smogových situací v sobě zahrnuje trvání regulací. Prokrutím jsou označeny sezony, kdy v dané oblasti ještě neměly všechny reprezentativní stanice. Členění na zóny a aglomerace je dáno přílohou č. 3 zákona č. 201/2012 Sb. Sezonnou se myslí období od 1. října do 31. března následujícího roku. Pokud byla smogová situace vyhlášena, resp. trvala, i mimo toto období, jsou odpovídající počty a trvání uvedeny za znaménkem plus. (Tyto případy nastaly výlučně v měsíci dubnu.)

Table 5. Number of smog situations (P) and their lengths in hours (T) as simulated according to the proposed amendment of Annex 6 of Act No. 201/2012 Sb. in the SVRS regions and with SVRS stations as specified in the Bulletin of the Ministry of Environment No. 9–10/2013. Duration of smog situations includes the duration of regulations. A dash denotes seasons when all the representative stations were not in operation in a particular region. Zones and agglomerations are defined in Annex 3 of Act No. 201/2012 Sb. A season is defined from October 1<sup>st</sup> to March 31<sup>st</sup> of the next year. If the modelled smog situation started / lasted outside this season, the respective numbers and durations are given after the plus sign.

| Kód zóny /<br>aglomerace                                                                  | Oblast SVRS                            | 04/05     |                             | 05/06     |              | 06/07    |                           | 07/08     |                            | 08/09     |                            | 09/10     |              | 10/11     |              | 11/12     |              | 12/13     |              | Suma<br>04/05–12/13 |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|--------------|----------|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------------|------------------------------|
|                                                                                           |                                        | P         | T                           | P         | T            | P        | T                         | P         | T                          | P         | T                          | P         | T            | P         | T            | P         | T            | P         | T            | P                   | T                            |
| CZ01                                                                                      | Agglomerace Praha                      | 1         | 144                         | 2         | 221          | 0        | 0                         | 1         | 72                         | 1         | 75                         | 0         | 0            | 1         | 123          | 1         | 58           | 1         | 60           | 8                   | 753                          |
| CZ02                                                                                      | Zóna Střední Čechy                     | 2         | 255<br>+69                  | 2         | 525          | 2        | 215                       | 1         | 91                         | 1         | 267                        | 1         | 51           | 4         | 326          | 2         | 367          | 1         | 68           | 16                  | 2 165<br>+69                 |
| CZ05                                                                                      | Královéhradecký kraj a Pardubický kraj | 1         | 64                          | 2         | 296          | 0        | 0                         | 1         | 76                         | 1         | 277                        | 1         | 133          | 3         | 171          | 3         | 242          | 2         | 210          | 14                  | 1 469                        |
|                                                                                           | Liberecký kraj                         | 1         | 60                          | 1         | 64           | 0        | 0                         | 0         | 0                          | 0         | 0                          | 1         | 43           | 1         | 70           | 2         | 149          | 1         | 64           | 7                   | 450                          |
| CZ04                                                                                      | Ústecký kraj                           | 1         | 111                         | 2         | 345          | 0        | 0                         | 1         | 48                         | 1         | 153                        | 1         | 42           | 4         | 506          | 2         | 287          | 0         | 0            | 12                  | 1 492                        |
|                                                                                           | Karlovarský kraj                       | 0         | 0                           | 2         | 88           | 0        | 0                         | 0         | 0                          | 1         | 60                         | 0         | 0            | 0         | 0            | 0         | 0            | 1         | 64           | 4                   | 212                          |
| CZ03                                                                                      | Plzeňský kraj                          | 5         | 268                         | 1         | 169          | 0        | 0                         | 0         | 0                          | 1         | 140                        | 0         | 0            | 0         | 0            | 2         | 84           | 1         | 68           | 10                  | 729                          |
|                                                                                           | Jihočeský kraj                         | 1         | 43                          | 2         | 268          | 0        | 0                         | 2         | 74                         | 1         | 142                        | 0         | 0            | 3         | 147          | 3         | 139          | 0         | 0            | 12                  | 813                          |
| CZ06Z                                                                                     | Kraj Vysočina                          | 0         | 0                           | 3         | 279          | 0        | 0                         | 0         | 0                          | 0         | 0                          | 0         | 0            | 0         | 0            | 0         | 0            | 0         | 0            | 3                   | 279                          |
|                                                                                           | Jihomoravský kraj bez Brna             | 2         | 93                          | 4         | 488          | 0        | 0                         | 0         | 0                          | 0         | 0                          | 1         | 120          | 0         | 0            | 3         | 267          | 1         | 40           | 11                  | 1 008                        |
| CZ06A                                                                                     | Agglomerace Brno                       | 0         | 0                           | 1         | 75           | 0        | 0                         | 0         | 0                          | 0         | 0                          | 1         | 123          | 0         | 0            | 3         | 247          | 0         | 0            | 5                   | 445                          |
| CZ07                                                                                      | Zóna Střední Morava                    | ---       | ---                         | ---       | ---          | ---      | ---                       | ---       | ---                        | ---       | ---                        | ---       | ---          | ---       | ---          | ---       | ---          | 2         | 185          | 2                   | 185                          |
| CZ08Z                                                                                     | Zóna Moravskoslezsko                   | 4         | 365                         | 6         | 890          | 0        | 0                         | 3         | 147                        | 4         | 282                        | 6         | 443          | 4         | 338          | 2         | 851          | 6         | 527          | 35                  | 3 843                        |
|                                                                                           | Aggl. O/K/F-M bez Třinecka             | 7         | 855<br>+227                 | 9         | 1 939        | 5        | 606<br>+119               | 6         | 670<br>+41                 | 4         | 742<br>+90                 | 5         | 1 023        | 7         | 1 084        | 5         | 1 130        | 8         | 1 257        | 56                  | 9 306<br>+47                 |
| CZ08A                                                                                     | Třinecko                               | 0         | 0                           | 0         | 0            | 0        | 0                         | 1         | 64                         | 5         | 243                        | 6         | 635          | 6         | 762          | 1         | 456          | 5         | 558          | 24                  | 2 718                        |
| <b>ČR CELKEM</b>                                                                          |                                        | <b>26</b> | <b>2 300</b><br><b>+296</b> | <b>40</b> | <b>6 238</b> | <b>7</b> | <b>821</b><br><b>+119</b> | <b>16</b> | <b>1 242</b><br><b>+41</b> | <b>21</b> | <b>2 616</b><br><b>+90</b> | <b>27</b> | <b>2 912</b> | <b>33</b> | <b>3 527</b> | <b>32</b> | <b>4 744</b> | <b>29</b> | <b>3 101</b> | <b>231</b>          | <b>27 501</b><br><b>+546</b> |
| Počet oblastí SVRS s platnými daty, ve kterých nebyla vyhlášena ani jedna smogová situace |                                        | 4         |                             | 1         |              | 12       |                           | 6         |                            | 4         |                            | 5         |              | 5         |              | 2         |              | 4         |              |                     |                              |

## Literatura

- ČHMÚ, 2013a. Směrnice pro provádění smogového varovného a regulačního systému na území ČR. Směrnice ředitele ČHMÚ č. 2013/05.
- ČHMÚ, 2013b. Vyhodnocení Smogového regulačního a varovného systému na území České republiky od 1. října 2012 do 31. března 2013. Zpráva pro Odbor ochrany ovzduší MŽP ČR. 15. 7. 2013, rev. 7. 8. 2013.
- ČHMÚ, 2014. Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2013. Souhrnný tabelární přehled. [Air Pollution and Atmospheric Deposition in Data, the Czech Republic, 2013. Summary Tabular Survey.] (Kapitola 1.4.1) [online]. [cit. 5. 10. 2014]. Dostupné z WWW / Available at: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2013\\_enh/index\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2013_enh/index_CZ.html)

- JURAS, R., VLČEK, O., 2013. Srovnání smogových varovných a regulačních systémů pro  $PM_{10}$  podle staré a nové legislativy. *Ochrana ovzduší*, roč. 25, č. 3, s. 20–25, ISSN: 1211-0337.
- KAUFMAN, P. J., 1995. Smarter Trading: Improving Performance in Changing Markets. McGraw-Hill, Inc. ISBN: 0-07-034002-1.
- KEDER, J. 2013. Lze urychlit ukončení smogové situace? In: *OVZDUŠÍ 2013. Brno, 15. – 17. 4. 2013, Program a sborník konference*. Brno: Masarykova univerzita, s. 74–76. ISBN 978-80-210-6203-0.
- MULLOY, P. G., 1994. Smoothing Data With Less Lag. *STOCKS & COMMODITIES magazine*. Vol. 12, s. 78–80. ISSN 0738-3355.

Lektor (Reviewer): RNDr. Robert Skeřil, Ph.D.

## INFORMACE – RECENZE

### JEAN-FRANÇOIS GELEYN, ODEŠLA OSOBNOST NUMERICKÉ PŘEDPOVĚDI POČASÍ

Dne 8. ledna 2015 po dlouhém boji se zákeřnou chorobou zemřel v Toulouse evropský meteorolog Jean-François Geleyn. Narodil se 22. ledna 1950 na severu Francie v blízkosti belgických hranic v městečku Cousolre. V roce 1971 se stal inženýrem na prestižní pařížské École Polytechnique a v roce 1973 inženýrem meteorologie na École Nationale de la Météorologie. Meteorologie provázela Jeana-Françoise celý jeho odborný život, který strávil ve službách Météo France v Paříži a od roku 1991 v Toulouse. Jako správný Evropan byl několikrát vyslán rozvíjet svou vlastní odbornost a numerickou meteorologii i na jiná pracoviště. Tak byl v letech 1973–1975 výzkumníkem na univerzitě v německé Mohuči, v letech 1976–1982 v Evropském centru pro střednědobou předpověď (ECMWF) v britském Readingu a v letech 2003–2009 v Českém hydrometeorologickém ústavu v Praze, kde koordinoval mezinárodní aktivity spojené s projektem ALADIN.



Jean-François Geleyn

Jeho evropanství bylo úzce svázáno s numerickou předpovědí počasí. Podílel se na více než šedesáti odborných publikacích a na většině z nich spolupracoval se zahraničními kolegy. Seznam publikací, který je součástí této informace obsahuje výběr jen těch nejvýznamnějších, obsažených v databázi Web of Science. Působil jako učitel, nejen na své alma mater (École Nationale de la Météorologie), ale i na Matematicko-fyzikální fakultě Karlovy Univerzity v Praze a na fakultě Matematické fyziky a astronomie Univerzity v belgickém Gentu. Úspěšně vychovával doktorandy na Université Paris, Université Paul Sabatier de Toulouse, Universitatea din București, Univerza v Ljubljani, Université Libre de Bruxelles, Universiteit Gent, Univerzité Komenského a samozřejmě na pražské Univerzitě Karlově.

Je symbolické, že Jean-François Geleyn svým působením ovlivnil všech šest základních stavebních kamenů numerické předpovědi počasí v Evropě – ECMWF, UK Met-

Office, COSMO, HIRLAM, RC LACE a ALADIN. Osm let byl ve vědecké radě ECMWF, šest let ve vědecké radě UK Met-Office, model COSMO dvanáct let používal radiční schéma Ritter-Geleyn (viz publikace z roku 1992 s neuvěřitelným počtem 300 citací), spolupráce Météo France s modelem HIRLAM a propojení HIRLAM s modelem ALADIN (HARMONIE) nese stopy jeho autorství, stejně jako propojení globálního modelu IFS/ARPEGE a ECMWF. Zcela neformálně byl pasován do pozice vědeckého konzultanta RC LACE a troufnu si odhadnout, že bez něj by se ALADIN nikdy neotevřel mezinárodní spolupráci tak široce a obousměrně, jak to dnes vidíme nejen u nás, ale i na Slovensku, v Maďarsku, ve Slovinsku, v Chorvatsku, v Rakousku, v Rumunsku i jinde.

Jeho sedmiletý pobyt v ČHMÚ byl pro mnohé z nás obrovskou školou života. Nejen pro mladé meteorology, kteří často nestihali sledovat tok jeho myšlenek a nápadů, a přesto se jeho tempu rádi přizpůsobovali. Ale i pro mě osobně. Jean-François hodně rychle pochopil, že se mu nepodaří předělat klimatologa na špičkového meteorologa. Ale měl dar vytáhnout dvě nejdůležitější věty z mnohastránkového strategického dokumentu připraveného k projednání na některém z vrcholných setkání projektu ALADIN. A pokud jsem tyto dvě věty pochopil, což se ne vždy stalo, mohl jsem „3D-Var asimilaci modelových dat vhodně spojit s fyzikou modelu“ a obrátit tak diskusi tam, kam jsme potřebovali.

Jean-François Geleyn byl čestným členem České meteorologické společnosti a na návrh ředitele ČHMÚ se v roce 2011 stal nositelem Stříbrné medaile Evropské meteorologické společnosti.

Svou systematickostí a neúnavným pracovním nasazením dokázal strhnout své okolí k výkonům, které budou bez něj jen těžko dosahovat. Jean-François Geleyn byl pro mnohé z nás kolega, učitel a kamarád, který dlouhodobě podporoval rozvoj české meteorologie, zvláště pak té numerické, za což mu patří náš dík, uznání a úcta. Věřím, že jeho odkaz bude v naší meteorologii i nadále žít. Jean-François, adieu.

# Literatura:

- PREUSS, H. J., GELEYN, J. F., 1980. Surface albedos derived from satellite data and their impact on forecast models. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. A*, **29**, s. 345–356.
- GELEYN, J. F., PREUSS, H. J., 1983. A new data set of satellite derived surface albedo values for operational use at ECMWF. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. A*, **32**, s. 353–359.
- GELEYN, J. F., 1985. On a simple, parameter-free partition between moistening and precipitation in the KUO scheme. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, s. 405–407.
- MORCRETTE, J. J., GELEYN, J. F., 1985. On the influence of different radiation parameterizations on model-generated radiation fields. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, s. 565–585.
- BURIEZ, J. C., BONNEL, B. et al., 1988. Comparison of model generated and satellite derived cloud cover and radiation budget. *J. Geophys. Res.*, **93**, s. 3705–3719.
- COURTIER, P., GELEYN, J. F., 1988. A global model with variable resolution – Application to the shallow-water equations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **114**, s. 1321–1346.
- BOUGEAULT, P., GELEYN, J. F., 1989. Some problems of closure assumption and scale dependency in the parameterization of moist deep convection for numerical weather prediction. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **40**, s. 123–135.
- CAROLLE, D., LASSERREBIGORRY, A. et al., 1990. A GCM simulation of the springtime antarctic ozone decrease and its impact on midlatitudes. *J. Geophys. Res.*, **95**, s. 1883–1898.
- RITTER, B., GELEYN, J. F., 1992. A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction with potential applications in climate simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, s. 303–325.
- MAHFOUF, J. F., CAROLLE, D. et al., 1994. Response of the Météo-France climate model to changes in CO<sub>2</sub> and sea surface temperature. *Climate Dynamics*, **9**, s. 345–362.
- BUBNOVA, R., HELLO, G. et al., 1995. Integration of the fully compressible equations in the presence of orography in the framework of the ARPEGE/Aladin NWP system. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, s. 515–535.
- CAIAN, M., GELEYN, J. F., 1997. Some limits to the variable-mesh solution and comparison with the nested-LAM solution. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **123**(539), s. 743–766. ISSN 0035-9009.
- JANISKOVA, M., THEPAUT, J. N. et al., 1999. Simplified and regular physical parameterizations for incremental four-dimensional variational assimilation. *Monthly Weather Review*, **127**(1), s. 26–45. ISSN 0027-0644.
- GEORGELIN, M., BOUGEAULT, P. et al., 2000. The second COMPARE exercise: A model intercomparison using a case of a typical mesoscale orographic flow, the PYREX IOP3. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **126**(564), s. 991–1029. ISSN 0035-9009.
- MLADEK, R., BARCKICKE, J. et al., 2000. Intercomparison and evaluation of precipitation forecasts for MAP seasons 1995 and 1996. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **72**(2–4), s. 111–129.
- SADIKI, W., FISCHER, C. et al., 2000. Mesoscale background error covariances: Recent results obtained with the limited-area model ALADIN over Morocco. *Monthly Weather Review*, **128**(11), s. 3927–3935. ISSN 0027-0644.
- GOSPODINOV, I. G., SPIRIDONOV, V. G., et al., 2001. Second-order accuracy of two-time-level semi-Lagrangian schemes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **127**(573), s. 1017–1033. ISSN 0035-9009.
- GOSPODINOV, I., SPIRIDONOV, V., et al., 2002. A refined semi-Lagrangian vertical trajectory scheme applied to a hydrostatic atmospheric model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **128**(579), s. 323–336.
- SIROKA, M., FISCHER, C. et al., 2003. The definition of mesoscale selective forecast error covariances for a limited area variational analysis. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **82**(1–4), s. 227–244.
- GERARD, L., GELEYN, J. F., 2005. Evolution of a subgrid deep convection parametrization in a limited-area model with increasing resolution. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **131**(610), s. 2293–2312. ISSN 0035-9009.
- GELEYN, J. F., BENARD, P. et al., 2005. A general-purpose extension of the Malkmus band-model average equivalent width to the case of the Voigt line profile. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **131**(611), s. 2757–2768.
- CATRY, B., GELEYN, J. F. et al., 2007. Flux-conservative thermodynamic equations in a mass-weighted framework. *Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography*, **59**(1), s. 71–79.
- PIRIOU, J.-M., REDELSPERGER, J.-L. et al., 2007. An approach for convective parameterization with memory: Separating microphysics and transport in grid-scale equations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **64**(11), s. 4127–4139.
- CATRY, B., GELEYN, J. F. et al., 2008. A new sub-grid scale lift formulation in a mountain drag parameterisation scheme. *Meteorologische Zeitschrift*, **17**(2), s. 193–208.
- GELEYN, J. F., CATRY, B. et al., 2008. A statistical approach for sedimentation inside a microphysical precipitation scheme. *Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography*, **60**(4), s. 649–662.
- VANA, F., BENARD, P. et al., 2008. Semi-Lagrangian advection scheme with controlled damping: An alternative to nonlinear horizontal diffusion in a numerical weather prediction model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **134**(631), s. 523–537. ISSN 0035-9009.
- GERARD, L., PIRIOU, J.-M. et al., 2009. Cloud and Precipitation Parameterization in a Meso-Gamma-Scale Operational Weather Prediction Model. *Monthly Weather Review*, **137**(11), s. 3960–3977. ISSN 0027-0644.
- BENARD, P., VIVODA, J. et al., 2010. Dynamical kernel of the Aladin-NH spectral limited-area model: Revised formulation and sensitivity experiments. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **136**(646), s. 155–169.
- BENGTTSSON, L., STEINHEIMER, M. et al., 2013. A stochastic parametrization for deep convection using cellular automata. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **139**(675), s. 1533–1543. ISSN 0035-9009.
- DE TROCH, R., HAMDI, R. et al., 2013. Multiscale Performance of the ALARO-0 Model for Simulating Extreme Summer Precipitation Climatology in Belgium. *Journal of Climate*, **26**(22), s. 8895–8915. ISSN 0894-8755.
- MARQUET, P., GELEYN, J. F., 2013. On a general definition of the squared Brunt-Vaisala frequency associated with the specific moist entropy potential temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **139**(670), s. 85–100.
- DURAN, I. B., GELEYN, J. F. et al., 2014. A Compact Model for the Stability Dependency of TKE Production-Destruction-Conversion Terms Valid for the Whole Range of Richardson Numbers. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **71**(8), s. 3004–3026.
- WANG, Y., BELLUS, M. et al., 2014. A New Method for Generating Initial Condition Perturbations in a Regional Ensemble Prediction System: Blending. *Monthly Weather Review*, **142**(5), s. 2043–2059.
- YANO, J. I., VLAD, M. et al., 2014. Generalization, consistency, and unification in the parametrization problem. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **95**(4), s. 619–622.

Radim Tolasz



**NABÍDKA PUBLIKACE ČHMÚ**

**HYDROLOGICKÁ ROČENKA  
ČESKÉ REPUBLIKY 2013**

**HYDROLOGICAL YEARBOOK  
OF THE CZECH REPUBLIC 2013**

Praha: ČHMÚ 2013. 164 stran. Tištěná publikace s vloženým CD ROM.  
Cena 685,- Kč. ISBN 978-80-87577-43-1.

Ročenka přináší komplexní informace o pozorování hydrologických prvků, přičemž stěžejním obsahem jsou výsledky hydrologické bilance množství vody a jakosti vody. Zpracování hydrologické bilance je provedeno podle platné legislativy (zákon o vodách č. 254/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů, vyhláška MZe č. 431/2001 Sb.), která je v souladu s požadavky a směnicemi Evropského společenství. Cílem je v opakující se textové, tabelární a grafické formě umožnit průběžné sledování prostorových a časových změn vodního režimu. Prezentovány jsou rovněž aktuální úkoly hydrologie a významné regionální události. Přehled o pozorovacích objektech a profilech lze získat jak z připraveného mapového projektu, tak z přehledných seznamů.

Z obsahu:

- HYDROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ROKU 2013
- HYDROLOGICKÁ BILANCE MNOŽSTVÍ VODY (hodnocení po jednotlivých dílčích povodích)
- HYDROLOGICKÁ BILANCE JAKOSTI VODY (hodnocení celkové a po jednotlivých dílčích povodích)
- ZPRACOVÁNÍ DAT A JEJICH POSKYTOVÁNÍ VEŘEJNOSTI
- AKTUÁLNÍ A REGIONÁLNÍ PROBLÉMY A ÚKOLY HYDROLOGIE
- PŘEHLED PUBLIKOVANÝCH PRACÍ V ROCE 2013
- PŘEHLED HYDROLOGICKÝCH POZOROVÁNÍ V ROCE 2013
- PŘEHLED HYDROLOGICKÝCH PRACOVÍŠŤ ČHMÚ

Ročenka je vydávána v českém jazyce. V anglickém jazyce je uvedeno summary v úvodu ročenky i u jednotlivých kapitol a názvy všech grafických příloh.  
Kompletní publikace je dostupná na internetové adrese <http://voda.chmi.cz/roc/>.

**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](mailto:iva.sieglerova@chmi.cz)**

**Na objednávce uvádějte svoje IČ.**



## **PUBLIKACE VYDANÉ V NAKLADATELSTVÍ ČHMÚ V ROCE 2014**

**VÝROČNÍ ZPRÁVA ČESKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU 2013.**  
ISBN 978-80-87577-31-8 (CD).

**ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2013.**  
302 STRAN. ISBN 978-80-87577-37-0 (TIŠTĚNÁ). ISBN 978-80-87577-38-7 (CD).

**J. Rožnovský – T. Litschmann – T. Středa – H. Středová (eds.):  
EXTRÉMY OBĚHU VODY V KRAJINĚ.**  
SBORNÍK ABSTRAKTŮ + CD S PŘÍSPĚVKY Z MEZINÁRODNÍ KONFERENCE,  
MIKULOV 8. AŽ 9. 4. 2014. 55 STRAN. ISBN 978-80-87577-29-5 (ABSTRAKTA),  
ISBN 978-80-87577-30-1 (CD).

**K. Brych – M. Tesař (eds.): HYDROLOGIE MALÉHO POVODÍ 2014.**  
592 STRAN. ISBN 978-80-87577-32-5 (ČHMÚ), ISBN 978-80-02-02525-2 (ÚH AV ČR).

**J. Chalupa – V. Ondruch – P. Lipina: 60 LET POZOROVÁNÍ PROFESIONÁLNÍ  
METEOROLOGICKÉ STANICE LYSÁ HORA.**  
40 STRAN + CD. ISBN 978-80-87577-36-3.

**J. Hostýnek: KLIMATOLOGICKÁ STANICE KLATOVY 100 LET MĚŘENÍ A POZOROVÁNÍ.**  
28 STRAN. ISBN 978-80-87577-26-4.

**ČHMÚ – MĚŘENÍ A HODNOCENÍ ATMOSFÉRY A HYDROSFÉRY.**  
40 STRAN. ISBN 978-80-87577-28-8.

**J. Daňhelka – J. Kubát – P. Šercl – R. Čekal: POVODNĚ V ČESKÉ REPUBLICE V ČERVNU 2013.**  
86 STRAN. ISBN 978-80-87577-41-7.

**HYDROLOGICKÁ ROČENKA ČESKÉ REPUBLIKY 2014.**  
156 STRAN + CD. ISBN 978-80-87577-43-1.

**H. Středová – P. Fukalová – M. Lehnert – J. Rožnovský – T. Středa: TEPLOTA PŮDY.**  
PRÁCE A STUDIE Č. 36, 68 STRAN. ISBN 978-80-87577-45-5. ISSN 1210-7557.

**J. Daňhelka – J. Kubát – P. Šercl – R. Čekal: FLOODS IN THE CZECH REPUBLIC IN JUNE 2013.**  
86 STRAN. ISBN 978-80-87577-42-7.

**M. Váňa, A. Dvorská et al.: KOŠETICE OBSERVATORY – 25 YEARS.**  
92 S. ISBN 978-80-87577-40-0.