

# **METEOROLOGICKÝ ČASOPIS**

## **METEOROLOGICAL JOURNAL**

# **2019**

**ROČNÍK 22 - ČÍSLO 2**  
**VOLUME 22 - NUMBER 2**



**SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV**

Meteorologický časopis vydáva Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) ako vedecké a odborné periodikum so zameraním na meteorológiu, klimatológiu, hydrológiu, znečistenie ovzdušia a príbuzné vedné disciplíny. Časopis uverejňuje pôvodné vedecké práce, prehľadové články a krátke odborné príspevky domácich aj zahraničných autorov. Všetky články sú recenzované minimálne dvomi recenzentmi. Príspevky sa publikujú v jazyku anglickom, slovenskom a českom. Časopis vychádza 2x ročne. Časopis je dostupný na <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>.

The Meteorological Journal is being published by the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ). The purpose of the journal is to publish papers in any field of meteorology, climatology, hydrology, air pollution and related scientific disciplines. They may be original scientific papers, reviews and short communications of Slovak and foreign authors. All the papers are reviewed by at least two reviewers. Papers are published in English, either Slovak, or Czech languages. The Meteorological Journal is issued twice per year. Journal is available at <http://www.shmu.sk/en/?page=31>.

#### **PRESEDA REDAKČNEJ RADY – EDITORIAL BOARD CHAIRMAN**

Norbert Polčák, SHMÚ, Bratislava

#### **TECHNICKÁ REDAKTORKA – TECHNICAL EDITOR**

Katarína Pukančíková, SHMÚ, Bratislava

#### **REDAKČNÁ RADA – EDITORIAL BOARD**

Jan Bednář, MFF UK (Faculty of Mathematics and Physics Charles University), Praha

Martin Benko, SHMÚ, Bratislava

Rudolf Brázdil, MU (Masaryk University), Brno

Kamila Hlavčová, STU (Slovak University of Technology), Bratislava

Branislav Chvíla, SHMÚ, Bratislava

Martin Kremler, SHMÚ, Bratislava

Milan Lapin, FMFI UK (Faculty of Mathematics, Physics and Informatics Comenius University), Bratislava

Danica Lešková, SHMÚ, Bratislava

Oľga Majerčáková, SHMÚ, Bratislava

Igor Matečný, PriF UK (Faculty of Natural Sciences Comenius University), Bratislava

Irena Michlíková, SHMÚ, Bratislava

Jozef Mindáš, SEVS (University of Central Europe), Skalica

Pavol Nejedlík, SHMÚ, Bratislava

Vladimír Pastirčák, SHMÚ, Bratislava

Jana Poórová, SHMÚ, Bratislava

Anna Pribullová, SHMÚ, Gánovce

Zora Snopková, SHMÚ, Banská Bystrica

Janka Szemesová, SHMÚ, Bratislava

Ján Szolgay, STU (Slovak University of Technology), Bratislava

Bernard Šiška, SPU (Slovak University of Agriculture), Nitra

Štefan Škulec, SHMÚ, Bratislava

Jaroslav Škvarenina, TU (Technical University), Zvolen

Pavel Šťastný, SHMÚ, Bratislava

Radim Tolasz, ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute), Ostrava

Milan Trizna, PriF UK (Faculty of Natural Sciences Comenius University), Bratislava

Jozef Vivoda, SHMÚ, Bratislava

Pavol Zaujec, SHMÚ, Bratislava

#### **VYDAVATEĽ – EDITOR**

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, december 2019

Jeséniova 17, P.O. Box 15, 833 15 Bratislava 37

IČO 00 156 884

R. č. MK SR: 3268/09

ISSN 1335-339X

# METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

## METEOROLOGICAL JOURNAL

**2019**

**ROČNÍK 22 – ČÍSLO 2**

**VOLUME 22 – NUMBER 2**

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV  
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



## CONTENTS

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>TRANSBOUNDARY POLLUTION OVER SLOVAKIA</b><br>Dušan Štefánik.....                                                                              | 69  |
| <b>VALIDATION OF CMAQ CHEMICAL-TRANSPORT MODEL AND ITS METEOROLOGICAL INPUTS</b><br>Tereza Šedivá .....                                          | 77  |
| <b>EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN TURKEY</b><br>Zahide Acar, Barbaros Gönencgil .....                                                           | 87  |
| <b>TRENDS OF SELECTED CHARACTERISTICS OF SNOW COVER IN SLOVAKIA IN THE PERIOD 1981/1982 – 2017/ 2018</b><br>Cyril Siman, Jaroslava Slávková..... | 95  |
| <b>OCCURRENCE OF LARGE HAIL IN SLOVAKIA IN 2007 – 2019</b><br>Miroslav Šinger, Štefan Dlhoš .....                                                | 105 |

## INFORMATION

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>65<sup>th</sup> anniversary of SHMÚ</b><br>Ivan Garčár.....                                                                                              | 115 |
| <b>Two remarkable cases of stratospheric aerosols over Slovakia</b><br>Peter Hrabčák .....                                                                  | 118 |
| <b>WMO report on state of global climate in 2015 – 2019</b><br>Jozef Pecho, Ladislav Markovič.....                                                          | 122 |
| <b>Special report on state of global oceans and cryosphere</b><br>Jozef Pecho, Ladislav Markovič.....                                                       | 123 |
| <b>Information on SHMU warnings distribution through the Crisis management section of Ministry of the interior of Slovak Republic</b><br>Jozef Csaplár..... | 125 |
| <b>European meteorological society annual meeting 2019</b><br>Jozef Pecho, Ladislav Markovič, Paulína Valová.....                                           | 126 |
| <b>Seminar “Leaching of nitrogen from the agricultural soils”</b><br>Kristína Tonhauzer.....                                                                | 127 |
| <b>2<sup>nd</sup> annual meeting with reporters of drought impacts in Smolemice</b><br>Gabriela Ivaňáková.....                                              | 127 |
| <b>10<sup>th</sup> European conference on severe storms</b><br>Miroslav Šinger.....                                                                         | 127 |
| <b>Conference “Urbanized country, soil and climate”</b><br>Juraj Holec, Pavel Šťastný .....                                                                 | 128 |
| <b>Air protection conference 2019</b><br>Janka Szemesová .....                                                                                              | 129 |
| <b>Young scientist conferences on SHMÚ</b><br>Alena Blahová .....                                                                                           | 129 |
| <b>Activity of Slovak Meteorological Society in the second half of 2019</b><br>Paulína Valová.....                                                          | 130 |
| <b>Drought in Slovakia in the past</b><br>Jozef Pecho, Maroš Turňa .....                                                                                    | 131 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>PERSONALS</b> ..... | 135 |
|------------------------|-----|

## OBSAH

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>CEZHRANIČNÝ PRENOS ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKOK NA ÚZEMÍ SLOVENSKA</b><br>Dušan Štefánik.....                                                    | 69  |
| <b>VALIDÁCIA CHEMICKO-TRANSPORTNÉHO MODELU CMAQ A JEHO METEOROLOGICKÝCH VSTUPOV</b><br>Tereza Šedivá .....                                   | 77  |
| <b>EXTRÉMNE ZRÁŽKOVÉ UDALOSTI V TURECKU</b><br>Zahide Acar, Barbaros Gönencgil .....                                                         | 87  |
| <b>TRENDY VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK SNEHOVEJ POKRÝVKY NA SLOVENSKU V OBDOBÍ 1981/1982 – 2017/2018</b><br>Cyril Siman, Jaroslava Slávková..... | 95  |
| <b>VÝSKYT VEĽKÝCH KRÚP NA SLOVENSKU V ROKOCH 2007 – 2019</b><br>Miroslav Šinger, Štefan Dlhoš.....                                           | 105 |

## INFORMÁCIE

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>65 rokov Slovenského hydrometeorologického ústavu</b><br>Ivan Garčár.....                                                                            | 115 |
| <b>Dva pozoruhodné prípady výskytu stratosférických aerosólov nad Slovenskom</b><br>Peter Hrabčák .....                                                 | 118 |
| <b>Správa WMO o stave globálnej klímy v období 2015 – 2019</b><br>Jozef Pecho, Ladislav Markovič.....                                                   | 122 |
| <b>Špeciálna správa o stave oceánov a kryosféry</b><br>Jozef Pecho, Ladislav Markovič.....                                                              | 123 |
| <b>Informovanie o distribúcii výstrah SHMÚ prostredníctvom Sekcie krízového riadenia Ministerstva vnútra Slovenskej republiky</b><br>Jozef Csaplár..... | 125 |
| <b>Výročná konferencia Európskej meteorologickej spoločnosti</b><br>Jozef Pecho, Ladislav Markovič, Paulína Valová.....                                 | 126 |
| <b>Seminár „Vymývanie dusíka z poľnohospodársky využívaných pôd“</b><br>Kristína Tonhauzer.....                                                         | 127 |
| <b>2. ročník stretnutia s reportérmi dopadov sucha v Smoleniciach</b><br>Gabriela Ivaňáková.....                                                        | 127 |
| <b>10. európska konferencia o intenzívnych búrkach</b><br>Miroslav Šinger.....                                                                          | 127 |
| <b>Konferencia „Urbanizovaná krajina, pôda a klíma“</b><br>Juraj Holec, Pavel Šťastný.....                                                              | 128 |
| <b>Konferencia „Ochrana ovzdušia 2019“</b><br>Janka Szemesová.....                                                                                      | 129 |
| <b>Konferencie mladých odborníkov na pôde SHMÚ</b><br>Alena Blahová.....                                                                                | 129 |
| <b>Činnosť SMS pri SAV v druhej polovici roka 2019</b><br>Paulína Valová.....                                                                           | 130 |
| <b>Sucho na Slovensku v minulosti</b><br>Jozef Pecho, Maroš Turňa .....                                                                                 | 131 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>PERSONÁLIE</b> ..... | 135 |
|-------------------------|-----|



# CEZHraniČNÝ PRENOS ZNEČISŤUJÚCICH LÁTOK NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

DUŠAN ŠTEFÁNIK

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Odbor Monitorovanie kvality ovzdušia, dusan.stefanik@shmu.sk

*Transboundary pollution over Slovakia territory using CMAQ chemical transport model was calculated for NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in 2015. The actual average of concentration of transboundary pollution and its contribution to the total pollution were estimated by removing bias from the model. The error of the results which comes from the non-linearity in chemical mechanisms and from the model performance were also estimated and discussed.*

*Cezhraničný prenos znečisťujúcich látok na území Slovenskej republiky bol vypočítaný dvomi metódami pomocou chemicko-transportného modelu CMAQ pre NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> a PM<sub>2.5</sub> v roku 2015. Odstránením biasu modelu bol odhadnutý reálny cezhraničný prenos znečisťujúcich látok, ako aj príspevok cezhraničného prenosu k celkovým koncentráciám. Taktiež bola odhadnutá chyba výpočtu, ktorá pozostáva z chyby modelu a nelinearity chemického mechanizmu v chemicko-transportnom modeli.*

**Key words:** transboundary pollution, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, chemical-transport model

## 1. ÚVOD

Pod pojmom cezhraničný prenos znečisťujúcich látok rozumieme hodnoty koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší na území daného štátu, ktorých pôvod je v emisiách pochádzajúcich zo zdrojov nachádzajúcich sa mimo územia tohto štátu.

Ohodnotenie cezhraničného prenosu znečisťujúcich látok patrí k hlavným témam modelovania a monitorovania kvality ovzdušia. Táto problematika je reflektovaná medzinárodnou komunitou niekoľko desaťročí. V roku 1979 bol v Ženeve podpísaný CLRTAP - Dohovor Európskej hospodárskej komisie Organizácie spojených národov o diaľkovom cezhraničnom znečisťovaní ovzdušia [1]. Znalosť cezhraničného prenosu je taktiež deklarovaná ako jedna z priorit v smernici 2008/50/EK, v rámci ktorej je požiadavka kvantifikácie lokálneho, regionálneho a cezhraničného príspevku ku koncentráciám znečisťujúcich látok, ktoré prekračujú limitnú hodnotu. Vzhľadom na veľkú výpočtovú náročnosť bol cezhraničný prenos na území Slovenska doposiaľ počítaný len modelom EMEP s rozlíšením 0,1° × 0,1° [1]. V reporte [1] sa však uvádza iba percentuálna redukcia celkových koncentrácií znečisťujúcich látok na Slovensku získaná pomocou 15 % redukcie emisií v danom štáte, čo umožňuje kvalitatívne odhadnúť príspevky okolitých krajín k znečisteniu na Slovensku. Predložená práca má za cieľ kvantifikovať koncentrácie cezhraničného prenosu pomocou chemicko-transportného modelu s rozlíšením 4,7 × 4,7 km.

### 1.1 Konfigurácia modelu CMAQ a meteorologického modelu WRF

Na výpočet cezhraničného prenosu znečisťujúcich látok bol použitý model CMAQ (Community Multiscale Air Quality modeling system) vyvíjaný v EPA National Exposure Research Laboratory in Research Triangle Park, NC

[2, 3]. Bola použitá verzia CMAQv4.7.1 s chemickým modulom pre plynné látky cb05cl a aerosólovým modulom AERO4. Simulácia bola vykonaná na doméne s 103 × 184 mriežkovými bodmi s rozlíšením 4,7 × 4,7 km (Obr. 2). Táto doména bola vnorená do väčšej s 169 × 134 mriežkovými bodmi a priestorovým rozlíšením 14,1 × 14,1 km, z ktorej boli vypočítané okrajové podmienky.

Hodinové meteorologické polia boli získané pomocou modelu WRFv3.9.1 [4] s počiatočnými a okrajovými podmienkami z ECMWF reanalyzovaných dát. Podrobnejšie je konfigurácia modelu WRF, ako aj základné vlastnosti modelu CMAQ opísané v [5].

Emisie s hodinovým časovým priebehom, boli pripravené modelom FUME pracovníkmi ČHMÚ [6]. Pre územie Českej republiky boli použité emisné inventáre REZZO. Pre Malopolské a Sliezske vojvodstvá boli podrobné emisné inventáre vytvorené spoločnosťou AtmoTherm. Pre Slovensko boli použité emisie pre lokálne kúreniská z kategórie SNAP 2 vypočítané novou harmonizovanou metódikou a zvyšné malé zdroje z kategórie SNAP 2 boli doplnené z NEIS. Ostatné emisie boli použité z databázy TNO MAC-III 2011 [7], ktorá je založená na rozpočítavaní národných emisných reportíngov do pravidelnej mriežky metódou top-down.

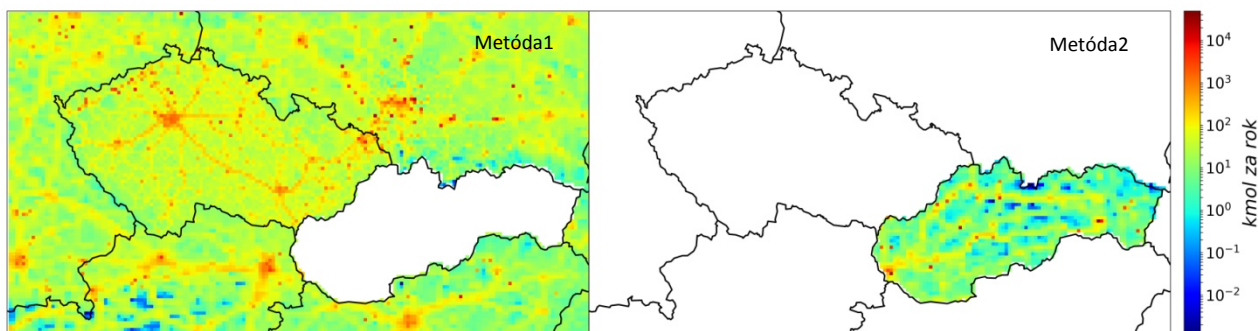
### 1.2 Metódy výpočtu cezhraničného prenosu

Cezhraničný prenos znečisťujúcich látok bol v tejto práci vypočítaný pomocou dvoch rôznych metód, ktoré sú označené ako metóda1 a metóda2.

- Metóda1 je založená na výpočte cezhraničného prenosu pomocou modelu, do ktorého sa nezapočítavajú emisie z územia Slovenskej republiky, pričom emisie z ostatného územia na doméne ostávajú nezmenené. Táto situácia je ilustrovaná na obrázku 1 (vľavo).

**Obrázok 1. Celkové ročné emisie  $\text{NO}_2$  v roku 2015 pre dve metódy.**

Figure 1. Total yearly emissions of  $\text{NO}_2$  in 2015 for two methods.



- Metóda2 je naopak založená na výpočte, do ktorého sa zarátavajú len slovenské emisie, zatiaľ čo emisie zo zvyšku domény sú nulové (Obr. 1, vpravo). Pre okrajové podmienky koncentrácií znečisťujúcich látok sú použité hodnoty pre čistý vzduch. Koncentrácie znečisťujúcich látok pochádzajúcich z cezhraničných zdrojov sú následne vypočítané odčítaním takto konfigurovaného modelu od plného behu modelu. Pod plným behom modelu sa rozumie simulácia, pri ktorej sa berú do úvahy všetky emisie v doméne.

Rozdiel vo výsledkoch medzi dvomi vyššie uvedenými metódami je spôsobený nelinearitou chemických mechanizmov v chemicko-transportných modeloch. Táto nelinearita spôsobuje chybu vo vypočítanom cezhraničnom prenose a je prítomná pri akejkoľvek metóde jeho výpočtu. V prezentovanej práci je táto chyba vo výpočte odhadnutá ako polovica z absolútneho rozdielu vypočítaných koncentrácií medzi metódou1 a metódou2, keďže tieto metódy predstavujú dva extrémne prípady výpočtu cezhraničného prenosu.

## 2. VÝSLEDKY CEZHRANIČNÉHO PRENOSU PRE $\text{NO}_2$

### 2.1 Plný beh modelu pre $\text{NO}_2$

Priemerné ročné povrchové koncentrácie  $\text{NO}_2$  v roku 2015 pre plný beh modelu sú prezentované na obrázku 2. Z porovnania modelu a priemerných ročných koncentrácií na

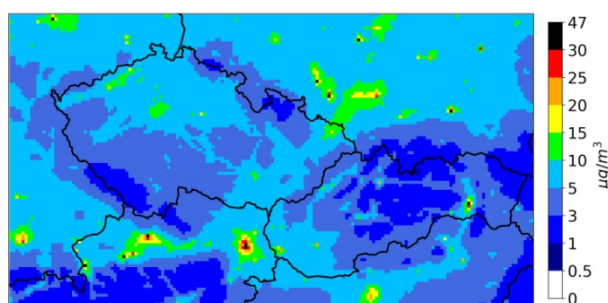
meraných na 101 vidieckych a predmestských pozadových staniciach [8] vychádza korelačný koeficient  $r = 0.66$ , priemerný bias  $-4.77 \mu\text{g.m}^{-3}$  a RMSE  $6.74 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Z porovnania nameraných hodinových koncentrácií s modelom v rámci metodiky FAIRMODE [9] vychádza, že výsledky modelovania  $\text{NO}_2$  spĺňajú minimálne kritéria na použitie modelu pre podporu politik, čo znamená, že výsledky modelovania môžu byť použité pri tvorbe plánov a stratégií na zlepšenie kvality ovzdušia.

### 2.2 Cezhraničný prenos $\text{NO}_2$

Vypočítaný cezhraničný prenos  $\text{NO}_2$  na Slovensku a jeho príspevok k celkovým koncentráciám je na obrázku 3 a 4. Vykreslené priemerné ročné koncentrácie sú získané z hodinových údajov vypočítaných modelom CMAQ.

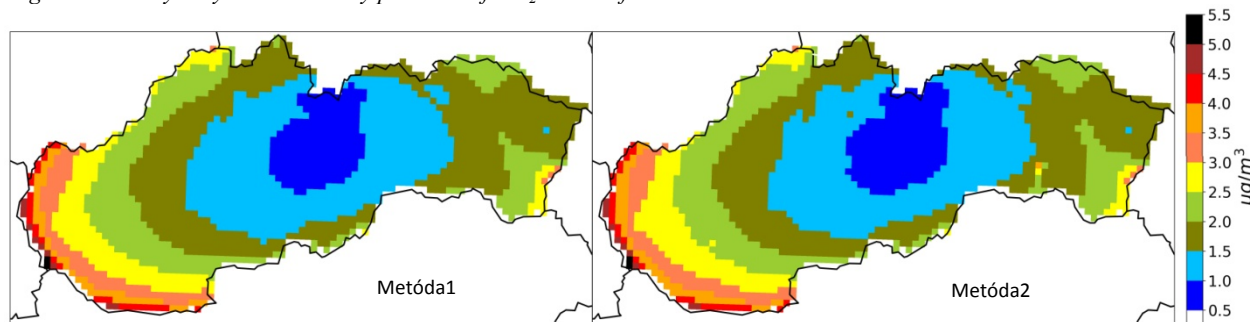
**Obrázok 2. Priemerné ročné povrchové koncentrácie  $\text{NO}_2$  v roku 2015.**

Figure 2. Mean yearly surface concentrations of  $\text{NO}_2$  in 2015.



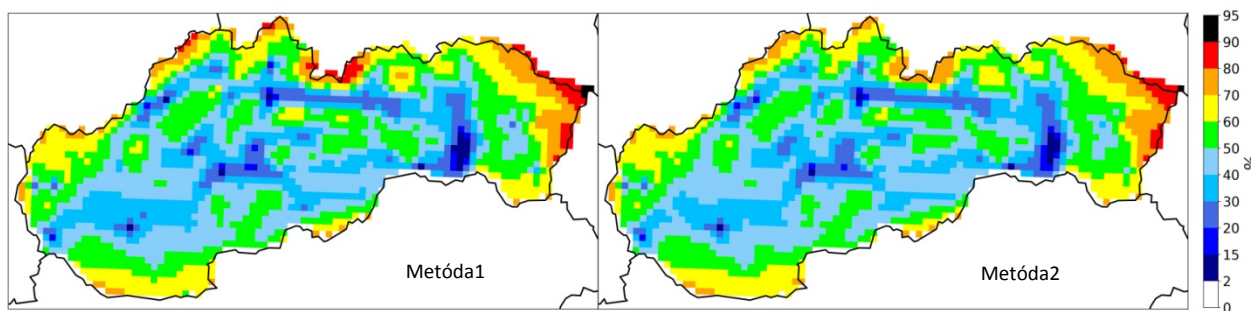
**Obrázok 3. Priemerný ročný cezhraničný prenos  $\text{NO}_2$  v roku 2015 pre dve metódy.**

Figure 3. Mean yearly transboundary pollution of  $\text{NO}_2$  in 2015 for two methods.



**Obrázok 4. Príspevok cezhraničného prenosu k celkovej koncentrácii NO<sub>2</sub> v roku 2015 pre dve metódy.**

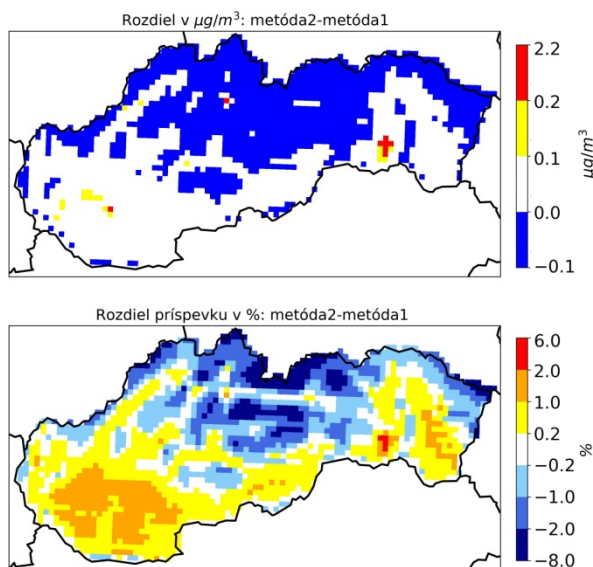
Figure 4. Contribution of transboundary pollution to total concentration of NO<sub>2</sub> in 2015 for two methods.



Na obrázku 5 môžeme vidieť, že okrem miest, ktoré sa vyznačujú vysokými celkovými koncentráciami NO<sub>2</sub>, je rozdiel medzi oboma metódami v rozmedzí  $(-0,2, 0,2) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Metóda1 predpovedá mierne vyššie cezhraničné koncentrácie na miestach, ktoré sa vyznačovali nižšími celkovými koncentráciami NO<sub>2</sub> (napr. hornaté územia, lesy, lúky), kým pre miesta s celkovými vyššími koncentráciami predpovedá metóda1 nižšie cezhraničné znečistenie ako metóda2. Pre miesta s veľmi vysokým celkovým znečistením predpovedá metóda2 vysoké predpovede cezhraničného prenosu.

**Obrázok 5. Rozdiel medzi dvomi metódami vo vypočítaných koncentráciách cezhraničného prenosu pre NO<sub>2</sub> (horná mapa) a rozdiel v jeho podiele k celkovému znečisteniu v roku 2015 (spodná mapa).**

Figure 5. The difference between two methods for calculated transboundary pollution of NO<sub>2</sub> concentrations (upper map) and the difference in the contribution of transboundary pollution to the total pollution (lower map).



### 2.3 Odhad skutočného cezhraničného prenosu NO<sub>2</sub> a chyby odhadu

Pri odhadovaní cezhraničného prenosu znečisťovaných látok sú prítomné dva druhy neurčitostí. Jedna je kvôli nelinearite chemických rovníc, druhá vyplýva z nedokonalosti modelu a jeho vstupov.

V predloženej práci je navrhnuté vziať ako konzervatívnu chybu za nelinearitu chemického mechanizmu polovicu absolútneho rozdielu medzi vypočítanými cezhraničnými koncentráciami pomocou metódy1 a metódy2. Táto chyba je pre každú bunku mriežky prezentovaná polovičnou hodnotou z hornej mapy na obrázku 5. Priemerná hodnota z výsledkov pre metódu1 a metódu2 sa potom považuje za predpoveď modelu pre cezhraničný prenos.

Chybu, ktorá pochádza z nedokonalosti modelu a najmä z nedokonalých meteorologických a emisných vstupov, je pre cezhraničné koncentrácie pomerne ťažké odhadnúť, keďže tie sa súčasnými technológiami nedajú zmerať.

Nech  $C_R$  predstavuje skutočné koncentrácie konkrétnej znečisťujúcej látky v danej bunke a  $T_R$  je v nej skutočná koncentrácia pochádzajúca z cezhraničného prenosu, potom platí

$$C_R = C_M + \Delta_C \quad a \quad T_R = T_M + \Delta_T, \quad (1)$$

pričom  $C_M$  and  $T_M$  sú hodnoty pre tieto veličiny vypočítané z modelu. Potom  $\Delta_C$  a  $\Delta_T$  predstavujú chybu modelu a vypočítaného cezhraničného prenosu v danej bunke. Dané chyby možno prepísať nasledovným spôsobom

$$\Delta_C = c C_M \quad a \quad \Delta_T = t T_M. \quad (2)$$

Ak označíme novozavedený koeficient  $c$  pre bunky vo vzdialených miestach od zdroja ako  $c_{rem}$ , je rozumné predpokladať, že koeficient  $t$  z rovnice (2) je rovnakého rádu ako koeficient  $c_{rem}$ , teda  $t \sim c_{rem}$ . Z tohto dôvodu sa pre účely tejto práce predpokladá  $t \equiv c_{rem}$ .

Z porovnania plného behu modelu a 101 vidieckych a predmestských pozadových staníc v rámci uvažovanej domény obdržíme hodnotu  $c_{rem} = 0,76 \pm 0,75$ . Berúc do úvahy predošlé predpoklady, rovnicu (1) a tiež chybu z nelinearity chemického mechanizmu, odhadujeme cezhraničné znečistenie NO<sub>2</sub> na území Slovenska ako:

$$T_R = 1,76 T_M \pm \delta,$$

$$\text{kde } \delta = \sqrt{(0,75 T_M)^2 + T_M^2}, \quad (3)$$

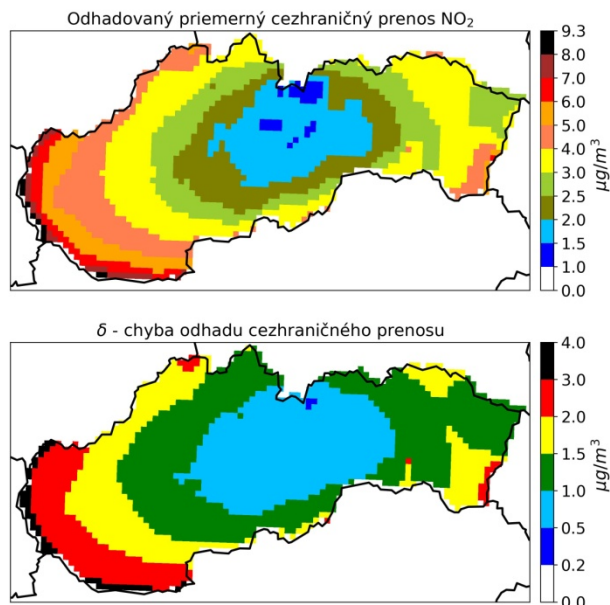
kde sme zaviedli označenie

$$T_M = (T_M(\text{method1}) + T_M(\text{method2}))/2,$$

$$T_M = |T_M(\text{method1}) - T_M(\text{method2})|/2. \quad (4)$$

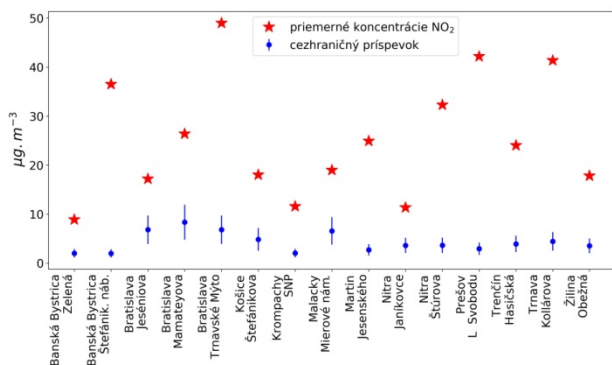
**Obrázok 6. Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos  $\text{NO}_2$  - TR a chyba odhadu  $\delta$  z rovnice (3).**

Figure 6. Estimated transboundary pollution  $\text{NO}_2$  - TR (upper map) and error of estimation  $\delta$  (lower map) from equation (3).



**Obrázok 7. Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos na meracích staniciach a priemerná meraná koncentrácia  $\text{NO}_2$  v roku 2015.**

Figure 7. Estimated mean transboundary pollution on air quality monitoring stations and mean measured concentrations of  $\text{NO}_2$  in 2015.



Odhadované cezhraničné znečistenie  $\text{NO}_2$  a chyba odhadu z rovnice (3) sú vykreslené na obrázku 6. Odhadované cezhraničné znečistenie na miestach meracích staníc je vykreslené na obrázku 7.

Dôležité je tiež poznať príspevok cezhraničného prenosu k celkovému znečisteniu. Použitím rovníc (1) a (2) môžeme pre každú bunku mriežky napísať

$$\frac{T_R}{C_R} = \frac{T_M + t T_M}{C_M + t C_M} \quad (5)$$

V prípade miest, na ktorých sa nachádzajú meracie stanice, a teda poznáme v nich skutočnú hodnotu  $C_R$ , môžeme príspevok cezhraničného prenosu jednoducho vypočítať

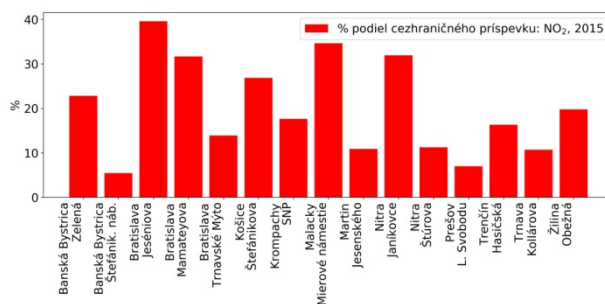
pomocou rovníc (3) a (5). Výsledok vyjadrený v percentách je na obrázku 8. Avšak v prípade miest, kde chýbajú údaje o celkových koncentráciách  $C_R$ , musíme tieto hodnoty odhadnúť. Nanešťastie koeficient  $c$  sa mení omnoho viac ako koeficient  $t$ , o ktorom sme predpokladali, že je rovný  $c_{rem}$ . Koeficient  $c$  závisí od typu miesta, do ktorého daná bunka spadá. Je iný pre mestské územia a iný pre areály umiestnené ďaleko od zdrojov. Pre zjednodušenie navrhujeme, že koeficient  $c$  v danej bunke mriežky je

$$c = (URB) c_{urb} + (1 - (URB)) c_{rem}, \quad (6)$$

kde (URB) je pomer mestskej zástavby v danej bunke, získaný z CORINE databázy, a  $c_{urb}$  je koeficient  $c$  obdržaný z porovnania plného behu modelu s mestskými pozadovými stanicami na Slovensku. Zo štyroch prevádzkovaných staníc s dostatočným zberom dát v roku 2015 sme obdržali  $c_{urb} = 1,08 \pm 0,36$ .

**Obrázok 8. Percentuálny podiel cezhraničného prenosu k celkovým koncentráciám  $\text{NO}_2$  na meracích staniciach.**

Figure 8. Contribution percentage of transboundary pollution to total  $\text{NO}_2$  concentrations on air quality monitoring stations.



Aby sme sa vyhli nerealisticky vysokým koncentráciám  $C_R$ , je koeficient  $c$  redukovaný pre bunky, v ktorých jeho použitie vedie na hodnoty  $C_R$  vyššie ako je priemerná ročná hodnota pre všetky mestské pozadové stanice na Slovensku  $16,1 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Redukcia je potom robená nasledovným spôsobom: Ak daná bunka spĺňa podmienku:  $26,36 \cdot (URB) > 16,1$ , priradí sa jej celková koncentrácia rovná  $26,36 \cdot (URB) \mu\text{g.m}^{-3}$ , inak sa jej priradí koncentrácia  $16,1 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Redukované  $c$  je potom odvodené z takto získanej koncentrácie pre danú bunku. Hodnota  $26,36 \mu\text{g.m}^{-3}$  je najvyššia priemerná ročná hodnota koncentrácie meraná na mestskej pozadovej stanici v roku 2015. Touto redukciou boli ovplyvnené iba územia v okolí Bratislavy a Košice a niekoľko menších území.

Rovnicu (5) možno prepísať ako

$$\frac{T_R}{C_R} = f(t, c) \frac{T_M}{C_M} \pm \delta_{\overline{M\%}}, \quad (7)$$

$$\text{kde } f(t, c) = \frac{1+t}{1+c} \quad \text{a} \quad \delta_{\overline{M\%}} = \frac{T_M}{C_M},$$

kde  $\delta_{\overline{M\%}}$  je chyba, ktorá pochádza z použitia priemeru pre dve metódy výpočtu cezhraničného znečistenia  $T_M$  v rovnici (7).



Funkcia  $f(t, c)$  pre každú bunku mriežky bola vypočítaná pomocou Monte-Carlo metódy použitím koeficientu  $t$  s hodnotami  $0,76 \pm 0,75$  a koeficientu  $c$  z rovnice (6) a jeho redukcie, ako bolo opísané vyššie, pričom jeho chyba bola daná ako

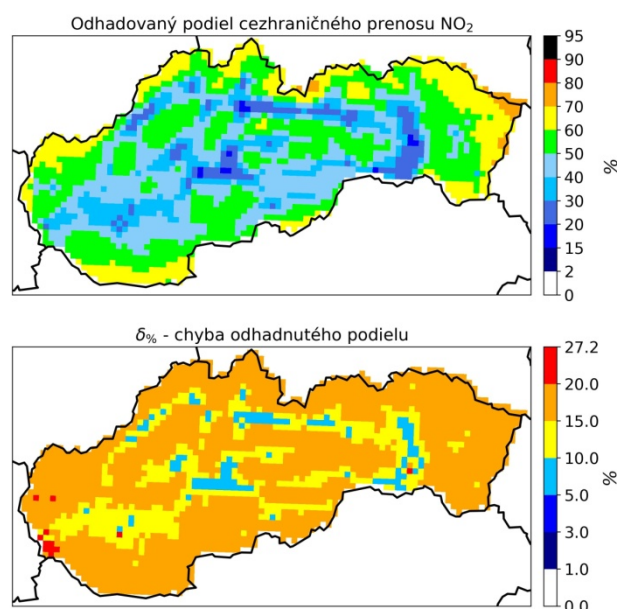
$$\delta_c = \sqrt{((URB)\delta_{urb})^2 + ((1 - (URB))\delta_{rem})^2}, \quad (8)$$

kde  $\delta_{urb} = 0,36$  a  $\delta_{rem} = 0,75$ . Keďže  $T_R < C_R$ , musí platiť nasledovná podmienka

$$c > (1+r) \frac{T_M}{C_M} - 1. \quad (9)$$

**Obrázok 9. Odhadovaný priemerný ročný príspevok cezhraničného prenosu k celkovému znečisteniu  $NO_2$  a chyba odhadu.**

Figure 9. Estimated mean year contribution of transboundary pollution to the total concentrations of  $NO_2$  (upper map) and error of estimation (lower map).



Na obrázku 9 je vykreslený výsledný odhadovaný priemerný ročný príspevok cezhraničného prenosu k celkovému znečisteniu  $NO_2$  a jeho chyba. Táto chyba je vypočítaná ako

$$\delta_{\%} = \sqrt{(\delta_{M.C.})^2 + (\delta_{M_{\%}})^2}, \quad (10)$$

kde  $\delta_{M.C.}$  je chyba vypočítaná z Monte-Carlo metódy pochádzajúca z nedokonalosti modelu. Pre bunky, v ktorých sa uplatnila redukcia koeficientu  $c$ , je do chyby  $\delta_{\%}$  zahrnutá ďalšia neurčitost' počítaná ako

$$\left| \frac{T_M}{C_{M1}} - \frac{T_M}{C_{M2}} \right| / 2,$$

kde  $C_{M1}$  je koncentrácia vypočítaná s koeficientom  $c$  z rovnice (6) a  $C_{M2}$  je koncentrácia obdržaná s redukovaným koeficientom  $c$ .

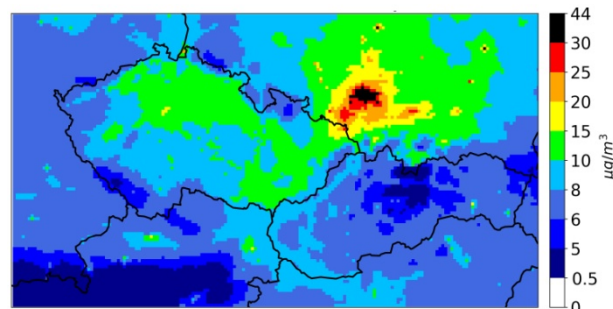
### 3. VÝSLEDKY CEZHRANIČNÉHO PRENOSU PRE $PM_{10}$ A $PM_{2,5}$

#### 3.1 Plný beh modelu pre $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$

Priemerné ročné povrchové koncentrácie  $PM_{10}$  vypočítané modelom CMAQ v roku 2015 sú zobrazené na obrázku 10. Z obrázku je vidieť, že model s výnimkou juhu Poľska nezachytáva oblasti s významnými koncentraciami  $PM_{10}$ . Je to spôsobené najmä rozdielnou metodikou získavania emisných vstupov pre rôzne regióny. Najmä pre oblasť Slovenska sú emisie  $PM_{10}$  zrejme podhodnotené. Z porovnania modelu a priemerných ročných koncentrácií nameraných na 79 vidieckych a predmestských pozad'ových staniciach vychádza korelačný koeficient  $r = 0,67$ , priemerný bias  $-10,06 \mu g.m^{-3}$  a RMSE  $11,05 \mu g.m^{-3}$ . Kvalitatívne veľmi podobné rozmiestnenie priemerných ročných koncentrácií ako v prípade  $PM_{10}$  dostávame, len s menšími hodnotami, aj pre  $PM_{2,5}$ . To je pochopiteľné, keďže koncentrácie  $PM_{2,5}$  tvoria podmnožinu koncentrácií  $PM_{10}$ . Z porovnania modelu a priemerných ročných koncentrácií nameraných na 30 vidieckych a predmestských pozad'ových staniciach vychádza pre  $PM_{2,5}$  korelačný koeficient  $r = 0,91$ , priemerný bias  $-6,17 \mu g.m^{-3}$  a RMSE  $6,56 \mu g.m^{-3}$ . Výsledky pre koncentrácie  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  nespĺňajú minimálne požiadavky pre použitie modelu pre podporu politik v rámci metodiky FAIRMODE. Avšak Mean Quality Index (MQI) pre  $PM_{2,5}$  vychádza  $MQI = 1,09$ , takže minimálna podmienka pre použitie modelu pre podporu politik  $MQI = 1$  je takmer splnená.

**Obrázok 10. Priemerné ročné povrchové koncentrácie  $PM_{10}$  v roku 2015.**

Figure 10. Mean year surface concentrations of  $PM_{10}$  in 2015.

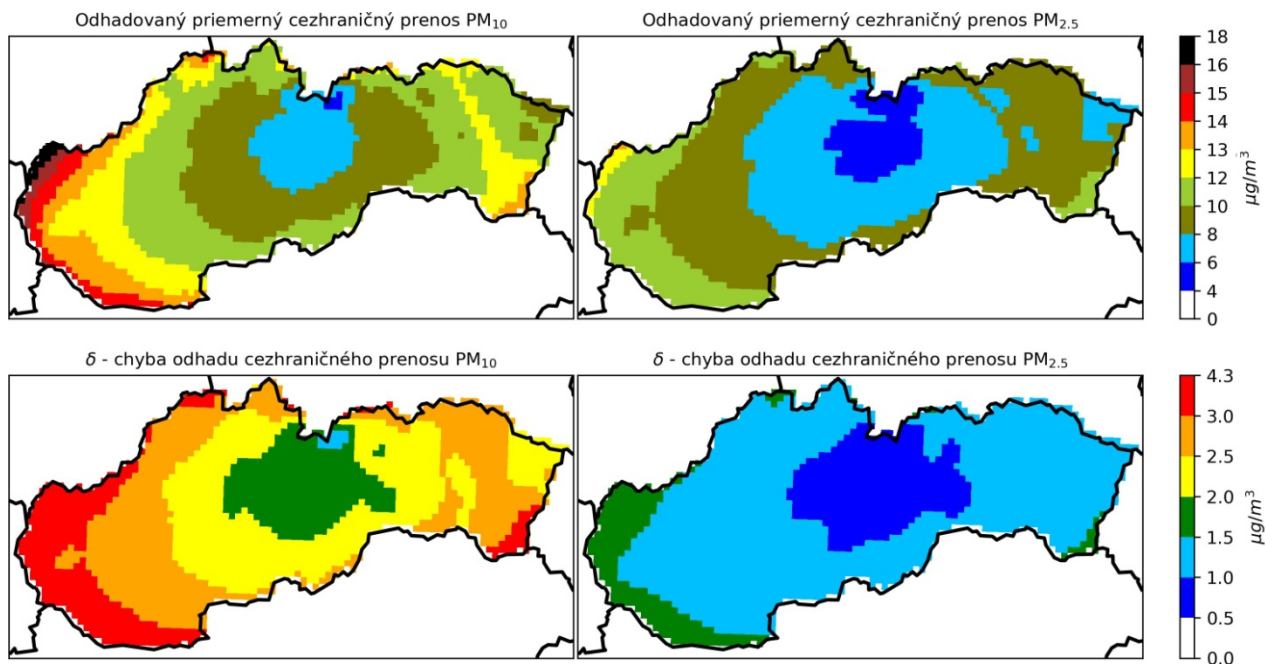


#### 3.2 Odhad skutočného cezhraničného prenosu $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ a chyby odhadu

Pri odhade skutočného cezhraničného prenosu  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  postupujeme analogicky ako v prípade  $NO_2$ . Pre  $PM_{10}$  dostaneme z porovnania koncentrácií plného behu modelu a 79 vidieckych a predmestských pozad'ových staníc  $c_{rem} = 1,19 \pm 0,51$ , zatiaľ čo pre  $PM_{2,5}$  dostávame  $c_{rem} = 0,74 \pm 0,25$  z porovnania 30 vidieckych a predmestských pozad'ových staníc. Použitím týchto koeficientov a príslušnou modifikáciou rovnice (3) dostávame odhadovaný skutočný cezhraničný prenos pre  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  a ich chybu odhadu. Výsledky sú prezentované na obrázku 11.

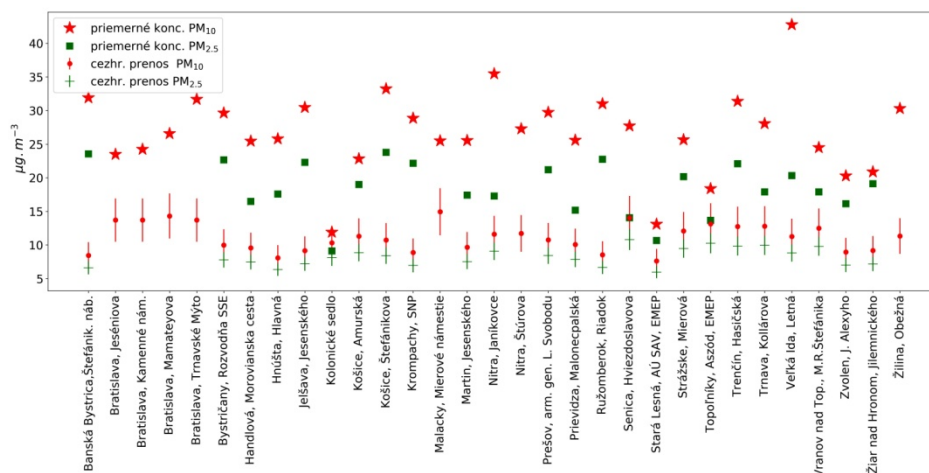
**Obrázok 11.** Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos TR pre  $PM_{10}$  (horná mapa vľavo) a pre  $PM_{2,5}$  (horná mapa vpravo). Chyba odhadu  $\delta$  je na príslušných spodných mapách.

Figure 11. Estimated mean transboundary pollution TR for  $PM_{10}$  (upper map left) and  $PM_{2,5}$  (upper map right). Error of estimation  $\delta$  is on the corresponding lower maps.



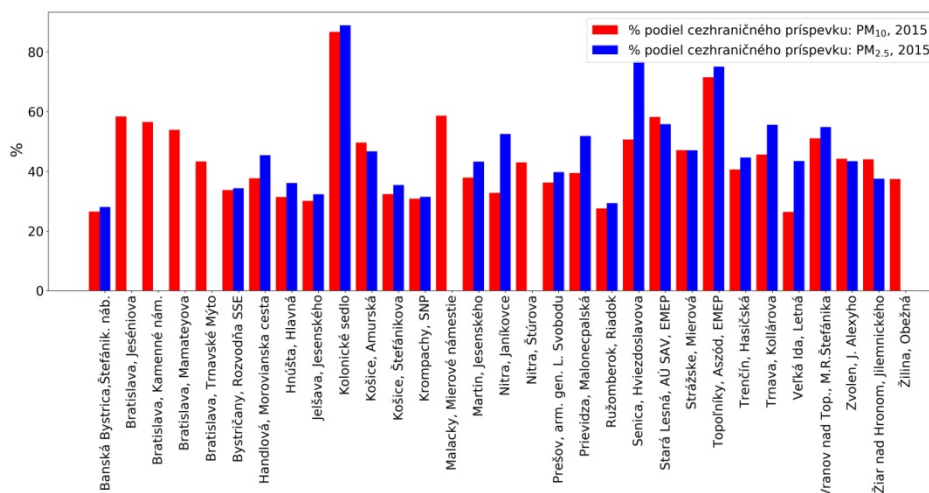
**Obrázok 12.** Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos na meracích staniách a priemerná meraná koncentrácia pre  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  v roku 2015.

Figure 12. Estimated mean transboundary pollution on air quality monitoring stations and mean measured concentrations of  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  in 2015.



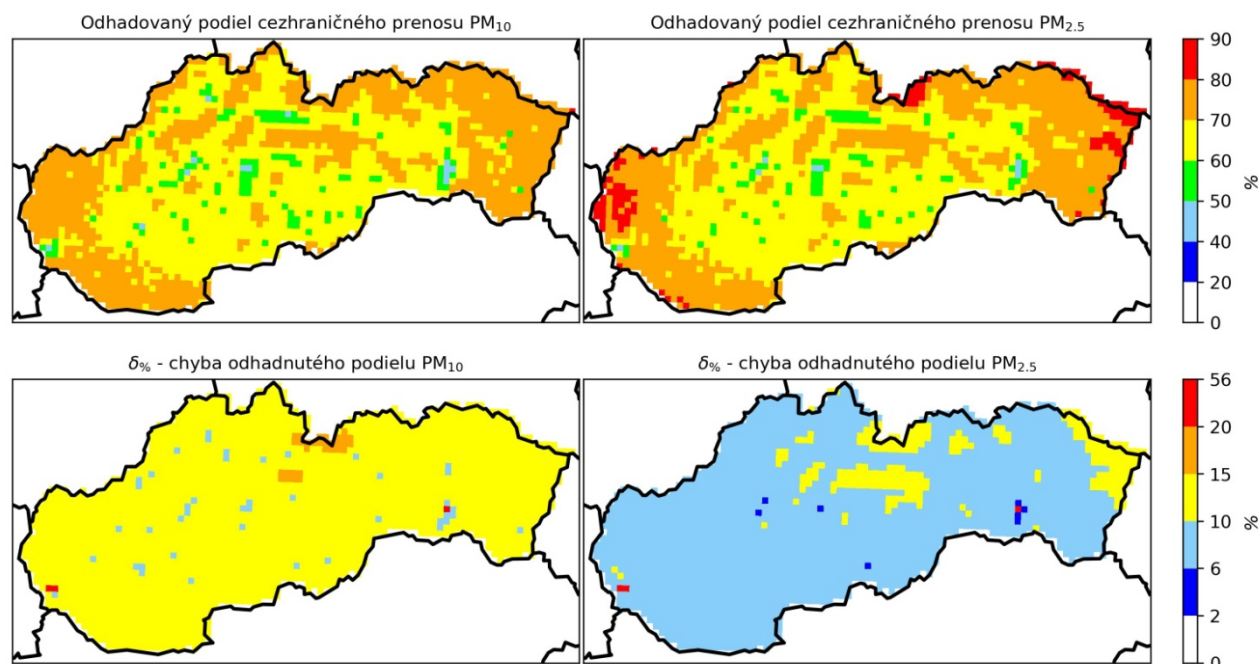
**Obrázok 13.** Percentuálny podiel cezhraničného prenosu k celkovým koncentraciám pre  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  na meracích staniách.

Figure 13. Contribution percentage of transboundary pollution to total  $PM_{10}$  and  $PM_{2,5}$  concentrations on air quality monitoring stations.



**Obrázok 14.** Odhadovaný priemerný ročný príspevok cezhraničného prenosu k celkovému znečisteniu  $PM_{10}$  (horná mapa vľavo) a  $PM_{2,5}$  (horná mapa vpravo). Chyba odhadu  $\delta$  je na príslušných spodných mapách.

Figure 14. Estimated mean transboundary pollution for  $PM_{10}$  (upper map left) and  $PM_{2,5}$  (upper map right). Errors of estimation  $\delta$  are on the corresponding lower maps.



Odhadované cezhraničné znečistenie  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  a jeho percentuálny podiel na miestach meracích staníc je na obrázkoch 12 a 13.

Pre odhad priemerných ročných príspevkov cezhraničného prenosu k celkovému znečisteniu  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  mimo miest meracích staníc potrebujeme poznať skutočnú hodnotu  $C_R$  v danej bunke. Rovnako ako v prípade  $NO_2$  ju odhadneme pomocou koeficientu  $c$  z rovnice (6). Z porovnania plného behu modelu s 12 mestskými pozadovými stanicami dostávame pre  $PM_{10}$   $c_{urb} = 2,46 \pm 0,70$  a pre  $PM_{2,5}$   $c_{urb} = 1,57 \pm 0,48$ . Tak ako v prípade  $NO_2$  potrebujeme vykonať redukciu  $c$ , ktorá vedie na nerealisticky vysoké koncentrácie  $C_R$ . K tomu potrebujeme vedieť hodnotu najvyššej priemernej ročnej koncentrácie na mestskej pozadovej stanici v roku 2015 na Slovensku, ktorá je pre  $PM_{10}$   $33,22 \mu g.m^{-3}$  a pre  $PM_{2,5}$   $23,77 \mu g.m^{-3}$ . Priemerná hodnota pre všetky mestské pozadové stanice v roku 2015 na Slovensku je pre  $PM_{10}$   $26,92 \mu g.m^{-3}$  a pre  $PM_{2,5}$   $18,99 \mu g.m^{-3}$ . Postupom ako v podkapitole 2.3 dostaneme odhadovaný priemerný ročný príspevok cezhraničného prenosu k celkovému znečisteniu  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  a chybu odhadu. Výsledky sú zobrazené na obrázku 14.

#### 4. ZÁVER

Cezhraničný prenos na území Slovenska bol vypočítaný pre  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  chemicko-transportným modelom CMAQ pre rok 2015. V práci boli použité dve metódy na výpočet cezhraničného prenosu. Rozdiel vo výsledkoch medzi týmito metódami je spôsobený nelinearitou chemických mechanizmov v chemicko-transportných modeloch.

V predloženej publikácii je navrhnuté považovať za predpoveď modelu pre cezhraničný prenos aritmetický priemer týchto metód a ako chybu, kvôli nelinearite chemických mechanizmov, brať polovicu z absolútnej hodnoty rozdielu medzi metódami. Táto chyba je pre  $NO_2$  rovná  $0,003 \pm 0,032 \mu g.m^{-3}$ , pričom maximálne hodnoty dosahuje v oblastiach s veľmi vysokým celkovým znečistením hodnotu  $2,16 \mu g.m^{-3}$ . Pre  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  je chyba  $0,2 \pm 0,08 \mu g.m^{-3}$  s maximom okolo  $0,84 \mu g.m^{-3}$ . Výsledky práce ukazujú, že chyba spôsobená chemickou nelinearitou je pre danú simuláciu menšia ako chyba vyplývajúca z nedokonalosti modelu a jeho meteorologických a emisných vstupov. V práci je táto druhá chyba odhadnutá pomocou postupu v podkapitole 2.3.

Hlavnými výstupmi práce sú odhadovaný priemerný ročný cezhraničný prenos  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ , taktiež chyba odhadu na obrázkoch 6 a 11, ďalej odhadovaný priemerný ročný cezhraničný prenos na meracích stanicach na obrázkoch 7 a 12, ako i percentuálny podiel tohto prenosu na obrázkoch 8 a 13. V neposlednom rade je prezentovaná aj mapa podielu cezhraničného prenosu na celkových koncentráciách na obrázkoch 9 a 14, ktoré treba brať so zreteľnom na skutočnosť, že v miestach silného lokálneho znečistenia sú tieto percentuálne podiely omnoho menšie, ako je vykreslené na mapách. Toto obmedzenie platnosti výsledkov vyplýva z rozlíšenia modelu  $4.7 \times 4.7$  km. Uvedené výstupy práce môžu slúžiť pri posudzovaní pôvodu znečistenia ovzdušia na Slovensku.

V predloženej práci sú analyzované priemerné ročné koncentrácie, ktoré boli získané spriemerovaním hodinových výstupov z modelu CMAQ. Tieto hodinové koncentrácie sú archivované a môžu slúžiť pre ďalšiu analýzu

cezhraničného prenosu - analyzovanie dní so silným, resp. slabým cezhraničným prenosom, podiel cezhraničného znečistenia v smogových epizódach, atď.

### PodĎakovanie

Ďakujem kolegom z Odboru monitorovania kvality ovzdušia: Jane Matejovičovej, Jane Krajčovičovej, Vladimírovi Nemčekovi a Tereze Šedivej za vynikajúcu pracovnú atmosféru, za poskytnutie niektorých špecifických údajov pre potreby predloženej práce, ako i za podporu pri písaní tejto práce.

### Zoznam skratiek

AERO4 – aerosólový modul v modeli CMAQ  
cb05cl – Carbon-Bond mechanism with chlorine extensions, chemický mechanizmus s chlórovým rozšírením, používaný v chemicko-transportných modeloch  
CMAQ – Community Multiscale Air Quality modeling system, chemicko-transportný model  
CORINE – Coordination of information on the environment, databáza s informáciami o využití zemského povrchu  
ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Európske centrum pre strednodobú predpoveď počasia, touto skratkou sa tiež označujú produkty globálneho meteorologického modelu, ktorý je spúšťaný v danom centre  
FUME – Flexible Universal Processor for Modeling Emissions, emisný procesor pre prípravu emisií do chemicko-transportných modelov  
NEIS – Národný Emisný Informačný Systém  
REZZO – Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší, evidencia zdrojov látok znečisťujúcich ovzdušie v ČR  
SNAP – Selected Nomenclature for Air Pollution, kategórie zdrojov znečistenia, SNAP 2 zahŕňa neindustriálne spaľovacie zariadenia  
top-down – metóda, pomocou ktorej sa celonárodné emisné inventáre rozpočítajú do jednotlivých buniek mriežky na uvažovanej doméne

### LITERATÚRA

- [1] EMEP – Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmisssion of Air Pollutants in Europe) (Geneve, 1984), H. Klein, M. Gauss, A. Nyiri and A. C. Benedictow, MSC-W Data Note 1/2018 Individual Country Reports Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O<sub>3</sub>) and PM.
- [2] U.S. EPA. EPA's Report on the Environment (Roe) (2008 Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-07/045F (NTIS PB2008-112484), 2008.
- [3] CMAQv5.2 Operational Guidance Document <https://www.cmascenter.org/cmaq/>, 2017.
- [4] User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) modelling System Version 3.9, 2017. <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
- [5] Štefánik, D., 2017, Air quality modeling using the CMAQ model, Zborník príspevkov 18. konferencia mladých meteorológov a klimatológov, SHMÚ Bratislava, 9.11.2017 ISBN 978-80-88907-95-4
- [6] Benešová et al., 2018, New open source emission processor for air quality models. In: Sokhi, R., Tiwari, P.R., Gállego, M.J., Cravotto Arnau, J.M., Castells Guiu, C. Singh, V. (eds) Proceedings of Abstracts 11<sup>th</sup> International Conference on Air Quality Science and Application. DOI: 10.18745/PB.19829. (pp. 27). Published by University of Hertfordshire. Paper presented at Air Quality 2018 conference, Barcelona, 12 – 16 March.
- [7] Kuenen, J.J.P.–Visschedijk, A.J.H.–Jozwicka, M.–Denier van der Gon, H.A.C., TNO-MACC\_II emission inventory; a multi-year (2003 – 2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling, Atmos. Chem. Phys., 14, 10963 – 10976, <https://doi.org/10.5194/acp-14-10963-2014>, 2014.
- [8] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aireporting-2tab-data-by->
- [9] P. Viaene et al., 2016, Guidance Document on Model Quality Objectives and Benchmarking.



# VALIDATION OF CMAQ CHEMICAL-TRANSPORT MODEL AND ITS METEOROLOGICAL INPUTS

TEREZA ŠEDIVÁ

Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Slovakia, tereza.sediva@gmail.com

*For the purpose of using the CMAQ chemical transport model as an assessment tool for emission reduction measures, the CMAQ model was validated together with its meteorological driver – the WRF model. The intention was to determine whether the WRF model is sufficient for the air quality modelling purposes. WRF model predictions were compared with measured data from Slovak meteorological stations. Results of WRF validation for surface temperature, pressure, wind speed and wind direction mostly did not satisfy the benchmarks proposed by the European Environment Agency. Pressure and temperature predictions were improved significantly by adjusting the modelled values to real station altitude using simple barometric formula and temperature gradient.*

*The chemical-transport model CMAQ was validated for predictions of  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , and particulate matter ( $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$ ) concentrations in the air. Concentrations of pollutants computed by the CMAQ model were compared with the observations from the air quality stations in Central Europe. The best results were achieved for predictions of  $\text{O}_3$ , then  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ , and lastly  $\text{SO}_2$ . The Delta Tool software, which is a validation tool recommended by EU, was used for benchmarking of CMAQ. Validating against all available air quality stations, benchmarking limits were fulfilled for  $\text{O}_3$  predictions, while  $\text{PM}_{2.5}$  predictions fell slightly below the benchmarking limits. Validating against regional background stations, limits were met for  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , and  $\text{PM}_{2.5}$ . Delta Tool does not currently provide benchmarking for  $\text{SO}_2$ .*

*Lastly, we examined an impact of the WRF model on CMAQ predictions. We concluded that correct wind prediction is the crucial factor for successful air pollution predictions. However, this conclusion is based on a small sample of stations. For conclusive results a larger sample should be taken into account in the future analysis.*

*Meteorologický model WRF bol validovaný pre potreby modelovania znečistenia ovzdušia modelom CMAQ, ktorý používa výstupné dáta z WRF ako meteorologické vstupy. Modelové predpovede z WRF boli porovnávané s nameranými dátami z meteorologických staníc Slovenska.*

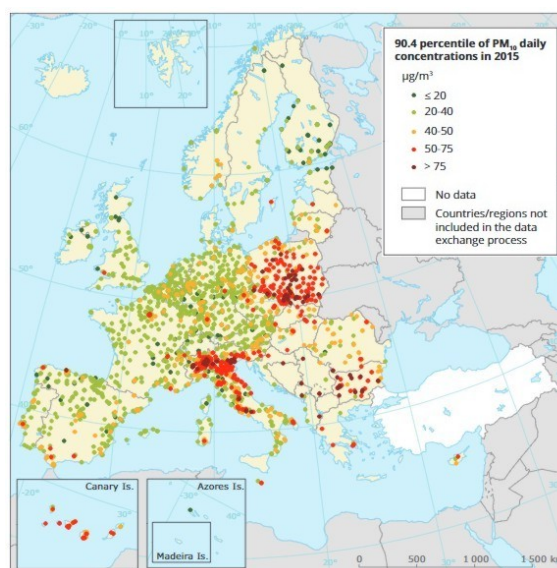
*Chemicko-transportný model CMAQ bol validovaný pre predpovede koncentrácií  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  a prachových častíc ( $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2.5}$ ) v ovzduší. Koncentrácie znečisťujúcich látok vypočítané modelom CMAQ boli porovnané s meraniami z monitorovacích staníc znečistenia ovzdušia v strednej Európe. Na validáciu CMAQu bol použitý aj software Delta Tool, ktorý predstavuje nástroj na overenie splnenia limitov modelových predpovedí odporúčaný EÚ. Jeho cieľom je poskytnúť jednoduchý a objektívny prístup k validácii. V práci bol taktiež skúmaný vplyv meteorologického modelu WRF na predpovede modelu CMAQ.*

**Key words:** WRF model, CMAQ model, air quality modelling, validation, Delta Tool

## INTRODUCTION

Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ) currently participates in the project LIFE IP Malopolska in a Healthy Atmosphere (<https://powietrze.malopolska.pl/en/life-project/>) (referred to as LIFE IP project further in the text), focused on measures for decreasing emissions from residential combustion of solid fuels in southern Poland. This area is considered as one of the hotspots for particulate matter (namely,  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$ ) in Europe (Fig. 1) (European Environment Agency (EEA), 2017). SHMÚ's contribution to the LIFE IP project consists of implementation of the CMAQ regional air quality model (Byun and Schere, 2006), driven by the WRF meteorological forecasting model (Skamarock et al., 2008), in order to estimate the impact of new measures on the air pollution in the region of Malopolska, Czech Republic and Slovakia.

Figure 1. Daily concentrations of  $\text{PM}_{10}$  in 2015 (EEA, 2017).



**The Weather Research and Forecasting (WRF) Model** is a mesoscale (local to continental) numerical weather prediction system designed for atmospheric research and operational forecasting applications. It is a fully compressible and non-hydrostatic Eulerian model (Wang et al., 2017).

**The Community Multiscale Air Quality (CMAQ)** is Eulerian mathematical air quality model, which is capable of handling multiple pollutants simultaneously (US EPA, 2017). It can be used on various spatial scales from local to hemispheric and for corresponding time scales.

Advection and diffusion of pollutants in the atmosphere is significantly influenced by the meteorological phenomena, thus it is necessary to provide the air quality models with good quality meteorological inputs. Therefore, the meteorological driver should be validated. Validation process analyses whether the model predictions sufficiently agree with the observations (Britter et al., 2007).

Our intention in this work is to validate the WRF and CMAQ models for the purpose of their use in the assessment of emission reduction measures proposed by the LIFE IP project. We validate WRF for predictions of surface level temperature, pressure, wind speed and wind direction. We intend to determine whether the current WRF model setup is suitable for use in the air quality assessment. We also validate CMAQ for predictions of surface level concentrations of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub>. We attempt to explain variations in CMAQ validation results considering WRF predictions in specific stations.

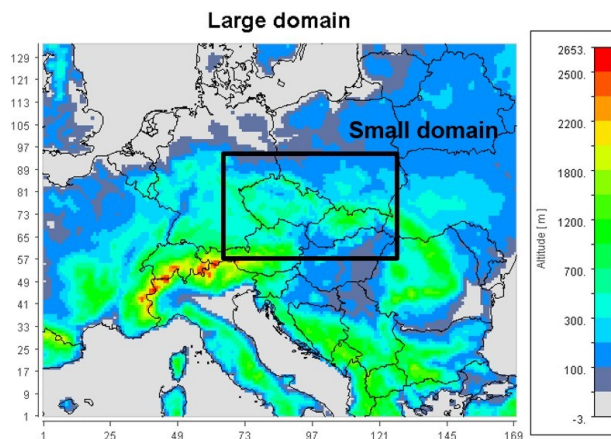
## SIMULATIONS

Both WRF and CMAQ simulations were computed for the year 2015 in two domains. The small domain with 103 x 184 grid boxes of 4.7 km resolution was nested inside the large domain with 133 x 169 grid boxes of 14.1 km resolution (Fig. 2). We used WRF model version 3 and CMAQ version 4.7.1. Simulations were computed on SHMÚ high-power computer using 64 cores.

The first WRF simulation was computed in the large domain using the ECMWF (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) reanalysis data. The results of the large domain simulation became the boundary and initial conditions for the small domain simulation. Simulations resulted in hourly data of 3D meteorological fields used as meteorological inputs for the CMAQ model.

In addition to the meteorological fields, air quality models require gridded emission fields usually prepared by an emission processor. For our simulations we used FUME emission model (Benešová et al., 2018). For the Czech Republic, Malopolska and Silesia regions, the detailed bottom-up emission inventories were used as inputs for all emission sectors. For Slovakia, the emissions from the residential heating sector were prepared using a new harmonized method developed during the LIFE IP project. The emissions from the remaining sectors and countries were taken from the TNO MAC-III 2011 database (Kuenen et al., 2014).

**Figure 2. Large domain with nested small domain.**



## VALIDATION

Model validation is a structured comparison of model predictions with experimental data. It is based upon statistical analysis of selected variables (Britter et al., 2007). It is useful to consider several performance statistics (Carslaw, 2015). We used quality indicators for model evaluation as suggested by European Environment Agency (EEA, 2011). They are listed in Table 1. *COE* and *FAC2* were only used for CMAQ validation.

**Table 1. Quality indicators used for validation.**

| Quality indicator                                | Acronym | Interval       | Ideal value |
|--------------------------------------------------|---------|----------------|-------------|
| Mean BIAS                                        | BIAS    | R              | 0           |
| Mean Gross Error                                 | MGE     | $< 0, \infty$  | 0           |
| Root Mean Square Error                           | RMSE    | $< 0, \infty$  | 0           |
| Coefficient of Correlation                       | r       | $< -1, 1$      | 1           |
| Index of Agreement                               | IOA     | $< -1, 1$      | 1           |
| Coefficient of Efficiency                        | COE     | $(-\infty, 1)$ | 1           |
| Fraction of predictions within the factor of two | FAC2    | $< 0, 1$       | 1           |

*BIAS*, *MGE* and *RMSE* values are in units corresponding to analysed quantities (hPa for pressure, K or °C for temperature, m.s<sup>-1</sup> for wind speed, degrees for wind direction, mg.m<sup>-3</sup> for pollutant concentrations. *r*, *IOA*, *COE* and *FAC2* are dimensionless. *COE* implies the model's ability to predict – when *COE* = 0, the model prediction capability is equal to that of the observed ensemble mean value - the model has no predictive advantage (Carslaw, 2015). Negative *COE* implies that the model is less effective than the observed mean in predicting variation in the observations. *FAC2* is the fraction of model predictions whose value is 50–200% of the observed value.

We validated WRF model predictions of pressure and temperature at standard 2 m height and wind speed and wind direction at standard 10 m height. We compared model predictions with the monitored data from 25 meteorological stations in Slovakia. Each station with its latitude and longitude is assigned to one grid box of a domain. Each grid box has its latitude and longitude given by the center

of the box. The final coordinates of each station in the grid are differing from the real ones, since the spatial resolution of the grid is limited. Every grid box has a constant mean altitude, so it also differs from the real station altitude.

CMAQ model results were compared to the observed concentrations from the air quality monitoring stations that lie within the small domain area. We analysed 5 pollutants: ozone ( $O_3$ ), nitrogen dioxide ( $NO_2$ ), sulphur dioxide ( $SO_2$ ), particulate matter with diameter smaller than  $10\ \mu m$  ( $PM_{10}$ ) and particulate matter smaller than  $2.5\ \mu m$  ( $PM_{2.5}$ ). The number of available monitoring stations differs among the pollutants. It was shown by other studies (Schaap et al., 2015) that while the increase in model grid resolution does not affect much the predictions for background stations, it can significantly improve the predictions for urban stations. Hence, we prioritize background stations in the validation as they are more representative for the grid box area than stations in a vicinity of emission sources (some urban background, transport and industrial stations).

In order to consider model outputs to be representative, they need to fulfil specific benchmarks – computed values of the quality indicators should satisfy given limits. For validation of the WRF model, 9 benchmarks were used for meteorological quantities as suggested by Emery et al. (2001) and Tesche et al. (2002). The pressure benchmark was suggested by Tesche et al. (2002) and Schluenzen et al. (2008). Benchmarks are presented in Table 2. The CMAQ model was benchmarked with Delta Tool software which is discussed in detail later.

**Table 2. Benchmarks for mesoscale meteorological model validation.**

| Parameter      | Indicator | Benchmark             |
|----------------|-----------|-----------------------|
| Wind speed     | RMSE      | $< 2\ m.s^{-1}$       |
|                | BIAS      | $< \pm 0.5\ m.s^{-1}$ |
|                | IOA       | $\geq 0.6$            |
| Wind direction | MGE       | $< 30^\circ$          |
|                | BIAS      | $< \pm 10^\circ$      |
|                | IOA       | $> 0.8$               |
| Temperature    | MGE       | $< 2\ K$              |
|                | BIAS      | $< \pm 0.5\ K$        |
|                | IOA       | $> 0.8$               |
| Pressure       | MGE       | $< 1.7\ hPa$          |

## VALIDATION RESULTS

### WRF validation results

We will only discuss the results of the small domain. We present the validation results obtained by comparison of modelled and measured data from the meteorological stations in Slovakia in Table 3.

Pressure and temperature corrections in Table 3 stand for the model values adjusted taking into account the real station altitude and computed using barometric formula and temperature gradient of  $0.6\ K/100\ m$ , respectively. However, CMAQ model uses the meteorological data in the original grid box altitudes, as it uses the same grid definition. Adjusted values are only computed for the sake of validation. Coverage stands for the percentage of successful observations.

**Table 3. Annual mean statistics of the WRF model predictions for 25 stations in Slovakia.**

| Modelled parameter           | Coverage | BIAS  | MGE   | RMSE  | r    | IOA  |
|------------------------------|----------|-------|-------|-------|------|------|
| Pressure                     | 99.35%   | 6.54  | 14.91 | 30.05 | 0.93 | 0.85 |
| Pressure after correction    | 99.35%   | -0.23 | 1.24  | 1.91  | 0.99 | 0.99 |
| Temperature                  | 98.73%   | 0.56  | 2.33  | 3.06  | 0.95 | 0.85 |
| Temperature after correction | 98.73%   | 0.16  | 2.08  | 2.71  | 0.96 | 0.87 |
| Wind speed                   | 98.45%   | 0.70  | 1.98  | 2.70  | 0.54 | 0.53 |
| Wind direction               | 71.84%   | 9.57  | 50.68 | 69.19 | 0.35 |      |

As we can see from Table 3, pressure correction significantly improved all of the quality indicators. Temperature correction also improved the results appreciably. The pressure correction meets the corresponding *MGE* benchmark. The temperature correction meets 2 out of three temperature benchmarks (*IOA*, *BIAS*) and is very close to meeting the third one (*MGE*).

Examining individual stations, those with model altitude close to the real station altitude show better results than the averaged statistics from Table 3.

We achieved one of the best results for Košice airport station, where the real and model altitudes differ by only  $0.636\ m$ . Only the *MGE* wind direction benchmarks were not satisfied.

One of the worst results was obtained for Chopok station, situated on a top of a mountain at the altitude of  $2005\ m$ . The model altitude is  $654.07\ m$  lower than the real station altitude. Without the corrections, only the wind direction *BIAS* benchmark was satisfied. The pressure correction immensely improved the results, as can be seen in Figure 3. The temperature correction also improved the results substantially, which is apparent from Figure 4. However, in latter picture we can see periods where the model correction worsened the results – we ascribe such periods to temperature inversions which are common in the mountains during the wintertime. The pressure *MGE* benchmark and two out of three temperature benchmarks (*IOA*, *BIAS*) were satisfied with the corrections. Wind direction *MGE* in this station was better than in majority of the other stations ( $MGE(\text{wind dir.}) = 38^\circ$ ) and we expect this to be the consequence of the station position - since it is situated higher than its surroundings, the orographic effect on the wind direction is reduced. However, it still does not satisfy the wind direction *MGE* benchmark.

Pressure and temperature corrections significantly improved the results at all stations (especially those with large differences between the model and station altitude. Therefore, it can be concluded that the largest insufficiency of the model emerges from the limited spatial resolution of the domain which causes large differences between the model and station altitudes.

Out of 9 benchmarks that were used for the validation, the wind direction *MGE* benchmark was not satisfied in any of the stations. The other benchmarks were achieved varying rates, the most successful one being the temperature *IOA* benchmark achieved for 22 out of 25 stations.

Figure 3. Pressure correction at Chopok station, January 2015.

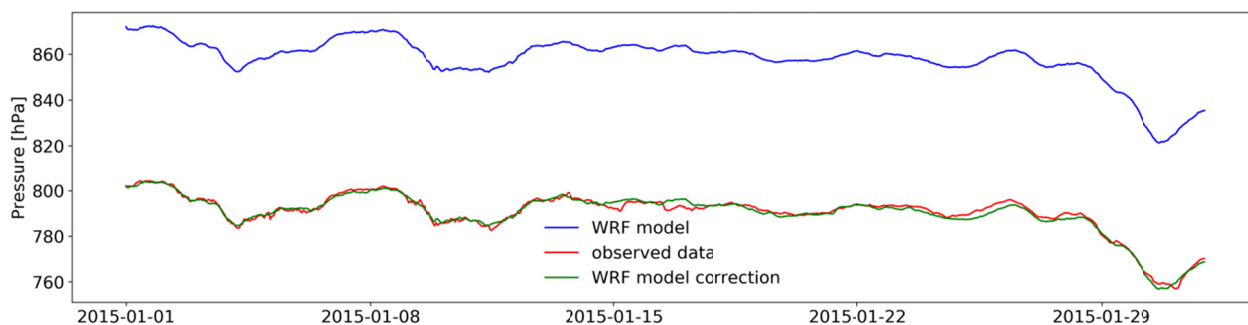
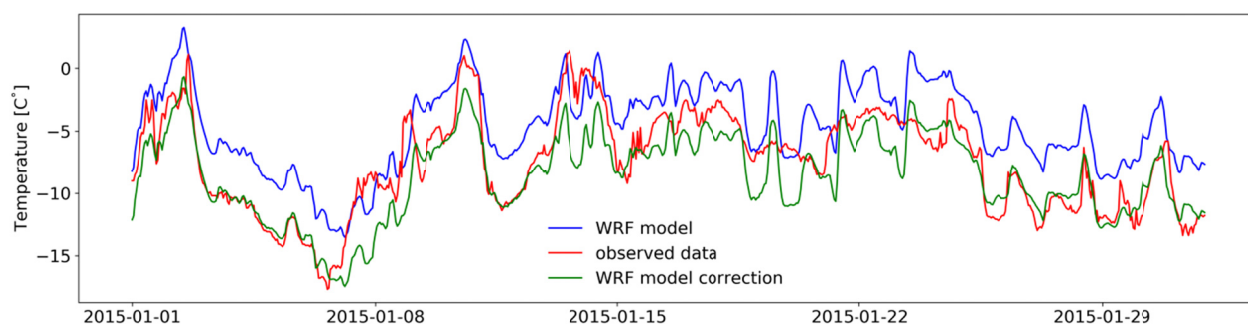


Figure 4. Temperature correction at Chopok station, January 2015.



### CMAQ validation results

The model validation statistics for surface concentrations are presented in Table 4. The model results were compared with the observations from the background stations of all countries within the small domain (Slovakia, Czech Republic, Poland, Austria, Hungary and Germany) except for Ukraine, which does not provide the air quality data from monitoring stations. Details about the stations and the observed data for each pollutant were acquired from the European Environment Agency online database (<http://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm>).

*BIAS*, *MGE* and *RMSE* in Table 4 are now in  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . We can see that  $\text{O}_3$  reached the best results of *r*, *FAC2*, *IOA* and *COE* out of these pollutants, but it has the largest values of *BIAS*, *MGE* and *RMSE*. However, concentrations of ozone in the atmosphere usually reach higher values than the other pollutants, and so also corresponding larger *BIAS*, *MGE* and *RMSE*. Predictions for  $\text{PM}_{2.5}$  are also relatively good.

Negative *COE* for  $\text{SO}_2$  and  $\text{PM}_{10}$  indicate no predictive advantage of the model for these two pollutants, for  $\text{NO}_2$  and  $\text{PM}_{2.5}$  the advantage is almost negligible. Even for  $\text{O}_3$  the *COE* values are rather low.

### Benchmarking of the CMAQ model using Delta Tool software

Delta Tool is evaluation software developed to assess the performance of air quality models based on the FAIRMODE (Forum for Air Quality Modelling in Europe) methodology (<http://fairmode.jrc.ec.europa.eu/about.html>). It intends to provide user-friendly approach to validation and benchmarking with the aim to unite various validation methods. It is based upon comparison of predicted model values with measured data from stations using specific statistical tools and procedures for the validation. It uses various charts and diagrams to provide a quick overview of the validation results. A complex paper on benchmarking using FAIRMODE methodology has been published by Kushta et al. (2018).

Table 4. Annual mean statistics of the CMAQ model predictions.

|                   | Number of stations | Coverage | BIAS   | MGE   | RMSE  | r    | IOA  | COE   | FAC2 |
|-------------------|--------------------|----------|--------|-------|-------|------|------|-------|------|
| $\text{NO}_2$     | 125                | 91.68%   | -5.48  | 8.53  | 12.96 | 0.45 | 0.52 | 0.04  | 0.47 |
| $\text{SO}_2$     | 92                 | 88.87%   | 0      | 3.26  | 7.63  | 0.28 | 0.39 | -0.22 | 0.39 |
| $\text{O}_3$      | 149                | 92.07%   | 13.9   | 24.02 | 30.32 | 0.61 | 0.55 | 0.11  | 0.77 |
| $\text{PM}_{10}$  | 100                | 91.96%   | -10.26 | 11.91 | 17.44 | 0.45 | 0.44 | -0.11 | 0.39 |
| $\text{PM}_{2.5}$ | 43                 | 80.91%   | -6.28  | 8.43  | 13.39 | 0.52 | 0.54 | 0.07  | 0.48 |

The following derivations are adapted from Delta user's guide version 5.6 (Thunis, Cuvelier et al., 2018). The most significant statistical parameter used by Delta Tool is the Model Quality Indicator (*MQI*):

$$MQI = \frac{RMSE}{\beta \cdot RMSU}. \quad (1)$$

Here,  $\beta$  represents a constant that is equal to 2 and *RMSU* stands for the Root Mean Square Uncertainty. The minimum level of quality to be achieved by a model for policy use is

$$MQI \leq 1. \quad (2)$$

$MQI^2$  can be further expressed as:

$$MQI^2 = \frac{BIAS^2}{\beta^2 \cdot RMSU^2} + \frac{(\sigma_M - \sigma_O)^2}{\beta^2 \cdot RMSU^2} + \frac{2\sigma_O\sigma_M(1-r)}{\beta^2 \cdot RMSU^2}. \quad (3)$$

Here *BIAS* stands for the mean *BIAS*;  $\sigma_M$  and  $\sigma_O$  are standard deviations of modelled and observed data, respectively; and  $r$  is the correlation coefficient. Notice that when any of these 3 indicators reach their ideal values ( $BIAS=0$ ,  $\sigma_M = \sigma_O$ ,  $r=1$ ), their corresponding term on the right side of Eq. 3 becomes zero. By considering ideal cases where 2 out of these 3 indicators perform perfectly, we acquire 3 individual equations called Model Performance Indicators (*MPI*) (for each term on the right side of Eq. 3). For example when  $\sigma_M = \sigma_O$  and  $r=1$ , Eq. 3 reduces to

$$MQI^2 = \frac{BIAS^2}{\beta^2 \cdot RMSU^2} = MPI^2. \quad (4)$$

*BIAS* now becomes the significant indicator. Likewise, we could derive specific  $MPI^2$  for a case when  $BIAS=0$  and  $\sigma_M = \sigma_O$  and for a case when  $BIAS=0$  and  $r=1$ . By separating the model inaccuracies into 3 individual indicators we acquire a deeper understanding of model's strengths and weaknesses.

Delta Tool uses 3 conditions for each *MPI* to assess the impact of the specific indicator on model performance. Comparing evaluated *MPIs* with these conditions puts the model performance into 3 categories (zones). The Green zone is defined by a condition, which states that

$$MPI \leq 1, \quad (5)$$

similarly with the Eq. 2. This condition guarantees that, considering the specific indicator, the model fulfils the minimum level of predictions accuracy demanded. However, the condition from the Eq. 2 remains superior since there are 3  $MPI^2$  in  $MQI^2$ .

The other two zones are the Orange zone, which highlights which of the 3 error types is dominating (we will not need this one for our examples) and the Dashed zone, which lies within the Green zone. In the Dashed zone, the difference between modelled and observed values lies within the measurement uncertainty range.

*MQI* can be evaluated for individual stations or for sets of stations. For a set of stations, the final *MQI* is determined as the 90<sup>th</sup> percentile of the set, using linear interpolation. For the validation, Delta Tool only uses the stations which possess at least 75% of the required observations during the selected time period.

Although Delta Tool uses various statistics and diagrams, we will only present one here, which is specific for this software. It is called the Target diagram and it uses the indicators described above.

Target diagram can currently be used for validation of hourly values of  $NO_2$ , 8 hour daily maximum of  $O_3$  and daily values of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  (it is planned to provide more options in the future). The diagram is placed in the xy-plane where each station is represented by a point. The position of every point is determined by the statistics for the corresponding station. The x axis represents normalized *BIAS* (*NBIAS*):

$$x = NBIAS = \frac{BIAS}{\beta \cdot RMSU}. \quad (6)$$

The y axis represents normalized centralized *RMSE* (*NCRMSE*):

$$\begin{aligned} CRMSE^2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(M_i - \bar{M}) - (O_i - \bar{O})]^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 - \\ &\quad - \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O}) \\ &= \sigma_M^2 + \sigma_O^2 - 2\sigma_M\sigma_O r \\ &= (\sigma_M - \sigma_O)^2 + 2\sigma_M\sigma_O(1-r), \end{aligned} \quad (7)$$

$$y = NCRMSE = \frac{CRMSE}{\beta \cdot RMSU}, \quad (8)$$

where  $M_i$  represents individual model predictions,  $\bar{M}$  is their mean value and similarly for  $O$  with the observations.  $N$  is a total number of the observations.

The distance of the point from the center of the plane is equal to *MQI*, since (combining Eq. 1, 3 and 7):

$$MQI^2 = \frac{RMSE^2}{\beta^2 \cdot RMSU^2} = \frac{BIAS^2}{\beta^2 \cdot RMSU^2} + \frac{CRMSE^2}{\beta^2 \cdot RMSU^2}. \quad (9)$$

Since *CRMSE* is always a positive value, the left side of the Target Diagram provides additional information on dominating error type from the Eq. 7 – it compares the influence of  $\sigma_M$  to  $r$  errors. When  $\sigma_M$  error dominates over the  $r$  error, the corresponding point lies in the right half of the Target Diagram. When  $r$  error dominates over  $\sigma_M$  error, the point lies in the left half.



There are 4 bold lines dividing the diagram into 4 main quadrants. They intend to help the user to evaluate the model error types with a single glance. Looking at Figure 5, we see that almost all stations lie within the left quadrant. This indicates that error from *BIAS* is smaller than the error from *CRMSE*, and also the *r* error dominates the  $\sigma_M$  error. Majority of stations have  $BIAS < 0$ , which tells us that the modelled values are mostly underestimated. We can see that almost all of the stations lie within the Green zone ( $MQI < 1$ ) and some are even in the Dashed zone, which indicates that the predicted values lie within the measurement uncertainty range. Since the  $MQI = 0.858$  is smaller than 1, using the FAIRMODE benchmarking methods CMAQ would be considered as a convenient air quality model for policy use for prediction of  $NO_2$ . Note that we only use the first  $MQI$  value in Target diagram, the other one is for annual values and is computed using a different approach.

We only used Slovak, Czech and Polish stations for benchmarking, since that is the area of concern for LIFE IP project. In Figure 5 we present the results for background stations only, as they are the most representative for the validation. In Figure 6 we present the Target diagrams for  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  predictions (background stations only). We can see that for  $PM_{10}$ , even the background stations do not satisfy the FAIRMODE benchmark, since  $MQI = 1.32$ . However, for  $PM_{2.5}$  the results are satisfactory. We present the results of  $MQI$  values for the complete station set in Table 5.

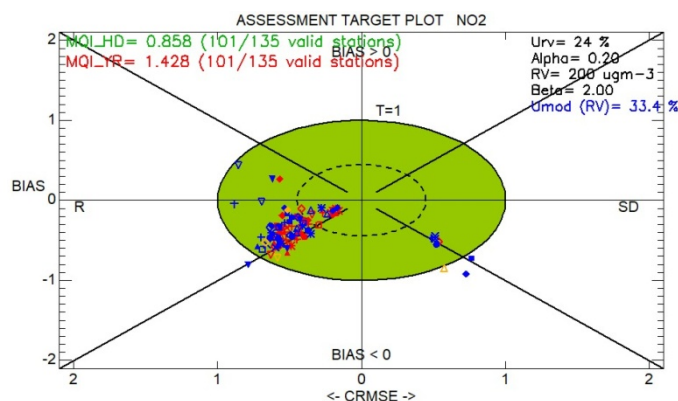
**Table 5.  $MQI$  values for all, background and traffic stations.**

|            | All stations | Background | Traffic |
|------------|--------------|------------|---------|
| $NO_2$     | 1.117        | 0.858      | 1.422   |
| $O_3$      | 0.722        | 0.710      | 0.755   |
| $PM_{10}$  | 1.322        | 1.320      | 1.334   |
| $PM_{2.5}$ | 1.009        | 0.968      | 0.681   |

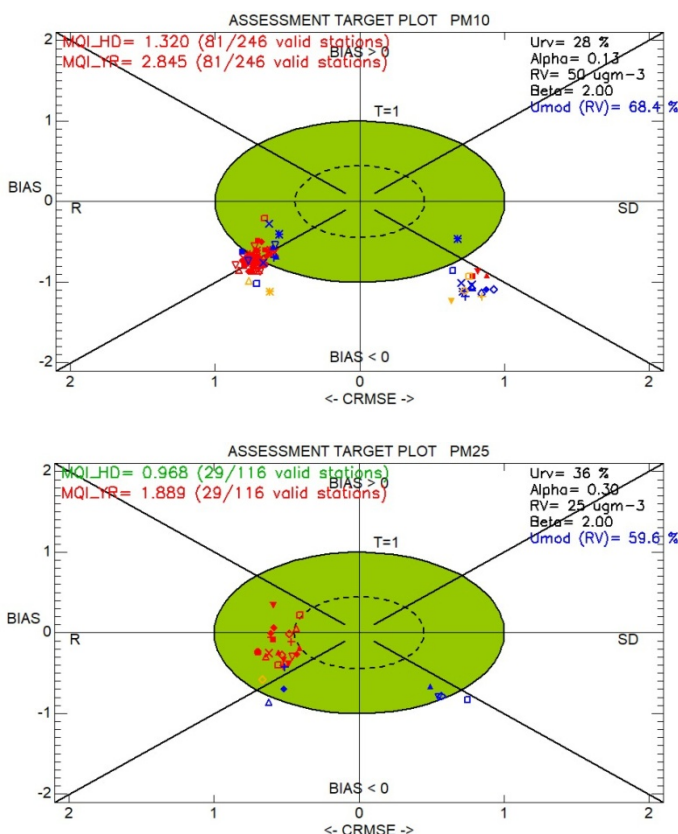
From the table we can see that  $O_3$  predictions gave much better results than the other pollutants with all of the stations falling within the Green zone. The overall worst results were obtained for  $PM_{10}$  predictions which would be considered insufficient for policy use. However, it is interesting that  $PM_{2.5}$  predictions reached far better results considering the fact that  $PM_{2.5}$  is a subset of  $PM_{10}$ . This might be caused by the difference in the measurement uncertainties of these two pollutants. While  $PM_{10}$  has the measurement uncertainty of 28%, for  $PM_{2.5}$  it is 36% and therefore the validation slightly favours  $PM_{2.5}$ , as the tool considers it as being less accurate. However, it may also be caused by the fact that there is much less stations measuring  $PM_{2.5}$  than those measuring  $PM_{10}$  and they are usually located at more representative sites. It is also interesting that for  $PM_{2.5}$ , the best results were obtained at traffic stations.

These however make only a small portion of the stations and since they are usually located within cities, it is possible that the emission sources in these areas were estimated more accurately than some of the background emission sources. A similar situation appears when comparing results of  $PM$  validation for summer and winter months: the higher emissions associated with winter household heating are assessed better than relatively low summer emissions causing the model to achieve better results for winter season than for the summer. The summer season  $PM_{2.5}$  *BIAS* in CMAQ predictions due to poorly assessed emissions was also discussed in the paper by Appel et al. (2017).

**Figure 5. Target diagram for  $NO_2$  in background stations of Slovakia, Czech Republic and Poland for 2015.**



**Figure 6. Target diagrams for  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  at background stations of Slovakia, Czech Republic and Poland for 2015.**



## An impact of WRF and emission inputs on CMAQ predictions

In this section we try to determine causes of differences between the CMAQ predicted and observed values, based on the WRF validation statistics. There are only 4 background monitoring stations which also measure meteorological data – Bratislava Koliba, Chopok, Gánovce and Kojšovská hoľa, out of which the latter three measure only O<sub>3</sub>.

Bratislava Koliba station monitors NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub>. It is located in a suburban area on a hill. Its real altitude is 287 m and its model altitude is 148 m lower. It is defined as suburban background station and it has no large emission sources around it, only households. In order to determine how the WRF output might have influenced the CMAQ predictions, we present the validation results of WRF simulation for Bratislava Koliba station in Table 6. The results are presented without the corrections with respect to the real elevation, since CMAQ uses the uncorrected WRF predictions.

**Table 6. Annual mean statistics of the WRF model predictions for Bratislava Koliba station.**

|                | Coverage | BIAS  | MGE   | RMSE  | r    | IOA  |
|----------------|----------|-------|-------|-------|------|------|
| Pressure       | 99.29%   | 17.38 | 17.38 | 17.48 | 0.97 | -0.3 |
| Temperature    | 99.98%   | 0.5   | 2.14  | 2.68  | 0.96 | 0.86 |
| Wind speed     | 99.98%   | 1.27  | 1.66  | 2.09  | 0.6  | 0.33 |
| Wind direction | 42.36%   | 22.49 | 40.54 | 52.54 | 0.61 |      |

From these results, we can conclude that while the altitude difference caused a rather large overestimation of the pressure, the temperature results are acceptable. The wind statistics are mostly better than the average, especially the wind direction correlation. However, wind direction coverage in this period is very poor and thus the statistics may not represent the whole year adequately.

We present the validation results of CMAQ simulation for Bratislava Koliba station for all monitored pollutants in Table 7.

Comparing these results with the average values from Table 4, the NO<sub>2</sub> BIAS, MGE, RMSE, FAC2, and r give better results. However, IOA and COE are worse than the

average and negative COE also implies no predictive advantage of the model for NO<sub>2</sub> in this station. Results for O<sub>3</sub> are better than the average for all of the statistics. For PM<sub>10</sub> all the results are much worse than the average.

Chopok and Kojšovská hoľa stations achieved the worst statistics for pressure and temperature in the WRF simulation due to the altitude difference of 654 m for Chopok and 490 m for Kojšovská hoľa station. Kojšovská hoľa also had poor wind statistics. Chopok station wind statistics had a decent correlation in comparison with the other stations, although the wind speed was heavily underestimated. However, its wind direction statistics were even better than in some stations with otherwise much better results. Gánovce station has the altitude difference of only 7 m and its statistics for pressure and temperature were favourable. However, its wind statistics were rather poor.

We present the validation results of O<sub>3</sub> CMAQ predictions for these stations (including Bratislava Koliba station) in Table 8. We can see that Chopok and Bratislava Koliba stations have sufficient results – a decent correlation, COE above the average and high FAC2. Chopok station also has the smallest MGE and RMSE. Kojšovská hoľa on the other hand has negative COE and the largest BIAS which indicates the largest overestimation of the results. Gánovce station has the smallest correlation out of 4 stations monitoring ozone.

From these statistics, we could say that the wind is the meteorological quantity which influences air quality the most, since we obtained better results for CMAQ predictions at stations with better wind statistics. The temperature and pressure by themselves probably do not influence the air quality as much, since we achieved satisfactory air quality validation results for Chopok station, where the WRF predictions of pressure and temperature were the worst out of these stations. Bratislava Koliba station also confirms this assumption, since it also has poor pressure statistics but its wind and O<sub>3</sub> predictions are relatively good. The Gánovce station had satisfactory statistics for pressure and temperature, however its wind statistics were poor and its CMAQ predictions were not so good either. Lastly, Kojšovská hoľa station had very bad statistics in all meteorological variables and also worse CMAQ predictions.

**Table 7. Annual mean statistics of the CMAQ model predictions for Bratislava Koliba station.**

|                  | Coverage | BIAS   | MGE   | RMSE  | r    | IOA  | COE   | FAC2 |
|------------------|----------|--------|-------|-------|------|------|-------|------|
| NO <sub>2</sub>  | 77.16%   | -2.46  | 8.34  | 11.22 | 0.48 | 0.42 | -0.15 | 0.64 |
| O <sub>3</sub>   | 79.92%   | -5.17  | 20.01 | 26.41 | 0.70 | 0.65 | 0.29  | 0.88 |
| PM <sub>10</sub> | 77.77%   | -14.96 | 15.92 | 20.92 | 0.26 | 0.29 | -0.41 | 0.3  |

**Table 8. Annual mean statistics of the CMAQ model O<sub>3</sub> predictions for background stations.**

|                   | Coverage | BIAS  | MGE   | RMSE  | r    | IOA  | COE   | FAC2 |
|-------------------|----------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|
| Chopok            | 96.04%   | 5.65  | 10.49 | 12.80 | 0.68 | 0.59 | 0.18  | 1.00 |
| Gánovce           | 82.16%   | 17.16 | 20.04 | 26.57 | 0.54 | 0.49 | -0.03 | 0.86 |
| Kojšovská hoľa    | 84.71%   | 22.99 | 24.21 | 26.98 | 0.68 | 0.13 | -0.74 | 0.91 |
| Bratislava Koliba | 79.92%   | -5.17 | 20.01 | 26.41 | 0.70 | 0.65 | 0.29  | 0.88 |

However, we should be careful with interpreting these results, since the model altitudes considerably differ from the real station altitudes in case of 3 out of these 4 stations, including Chopok and Koliba stations which achieved the best results for O<sub>3</sub> predictions from our 4 stations. Our results are also based upon a small portion of stations and for a more reliable conclusion a larger sample should be analysed. Also, we only compared these stations for ozone, which had the best results in CMAQ simulations out of the analysed pollutants. It should be kept in mind that predictions of NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> at Bratislava Koliba station were even worse than the average. We could therefore assume that the reason behind the better results for O<sub>3</sub> at this station might not have been caused only by the better prediction of wind direction.

## CONCLUSION

The main goal of this work was to validate the WRF and CMAQ models and to determine the amount of uncertainty that the WRF model carries into the CMAQ predictions.

### Validation of the WRF model

We compared WRF model predictions with the observed data from Slovak meteorological stations. The overall WRF predictions did not satisfy the validation benchmarks proposed by EEA. Statistics for individual stations were diverse, but stations with altitudes close to the corresponding grid box mean altitudes achieved acceptable results. However, one of the benchmarks for wind direction was not met for any of stations. We were able to correct the pressure and temperature model values to the real station altitudes and improve the statistics this way in majority of the stations. It was determined that the difference between the station and the model altitudes caused by the spatial resolution of the domain has the largest impact on the accuracy of pressure and temperature predictions. However, the air quality model uses the uncorrected values and so the inaccuracies in the meteorological quantities are transferred into the CMAQ model via 3D meteorological input fields. Results of the WRF model validation are summarized in Table 3.

### Validation of the CMAQ model

We validated the CMAQ model for the predictions of O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub>. Comparing the evaluation statistics, the best results were achieved for O<sub>3</sub>. That is probably caused by the fact that O<sub>3</sub> is not directly emitted into the atmosphere and thus it is not as dependent on the emission inputs as the other pollutants. The second best result was achieved for NO<sub>2</sub>, then PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, and lastly SO<sub>2</sub> (Tab. 4).

For benchmarking of the CMAQ model we used FAIRMODE's validation software Delta Tool, as is developed directly for the air quality models. Only O<sub>3</sub> met

the Delta Tool benchmarking limits for all stations. However, PM<sub>2.5</sub> results were very close to the required limits. Considering only background stations, which are much more suitable for validation purposes, CMAQ predictions were sufficient for O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> (Tab. 5).

### Influence of the WRF predictions on the CMAQ model

Lastly, we tried to analyse the influence of WRF meteorology predictions on CMAQ performance. We were limited to only 4 background stations in Slovakia monitoring both meteorology and air quality. However, only one of them monitors NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>. Comparing the meteorological and air quality validation statistics we could conclude that the wind statistics are the most significant indicator of the air quality prediction success. Satisfactory predictions of O<sub>3</sub> were obtained for Chopok station, which had one of the worst temperature and pressure statistics but it had fair wind statistics results. Another station with a satisfactory temperature and pressure statistics but poor wind statistics had worse results in the O<sub>3</sub> predictions. However, we only analysed a small sample of stations and we only compared ozone predictions so our results should not be considered definite. More stations need to be taken into account for more reliable conclusions.

There was a large diversity in the model predictions for individual stations. We can often determine the cause of unsatisfactory results and justify why some of the stations should not be used for validation. Bad validation results do not necessarily mean that the mean grid box concentrations computed by CMAQ are wrong - the differences in model and station values may be caused by an insufficient representativeness of the station. This may be improved by increasing the spatial resolution of the model, however, we would then have to face other problems such as inadequate spatial resolution of emission and meteorology inputs and also the computing time which would rise significantly.

In this paper, only the surface level predictions for both WRF and CMAQ models were analysed. However, pollutants are often emitted by elevated sources which can reach up to 300 m. Therefore, validation of the temperature and wind vertical profiles of the WRF model is a necessary next step in our future validation work.

### List of Acronyms

|          |                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------|
| CMAQ     | - <i>The Community Multiscale Air Quality</i>                     |
| ECMWF    | - <i>The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>   |
| EEA      | - <i>European Environment Agency</i>                              |
| EPA      | - <i>Environmental Protection Agency</i>                          |
| FAIRMODE | - <i>Forum for Air Quality Modelling in Europe</i>                |
| SHMÚ     | - <i>Slovak Hydrometeorological Institute</i>                     |
| TNO      | - <i>Netherlands Organisation for Applied Scientific Research</i> |
| WRF      | - <i>The Weather Research and Forecasting</i>                     |

## REFERENCES

- Appel, K.W.–Napelenok, S.L.–Foley, K.M.–Pye, H.O.T.–Hogrefe, C.–Luecken, D.J.–Bash, J.O.–Roselle, S.J.–Pleim, J.E.–Foroutan, H.–Hutzell, W.T.–Pouliot, G.A.–Sarwar, G.–Fahey, K.M.–Gantt, B.–Gilliam, R.C.–Heath, N.K.–Kang, D.–Mathur, R.–Schwede, D.B.–Spero, T.L.–Wong, D.C.–Young, J.O., 2017, Description and evaluation of the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modelling system version 5.1. *Geosci. Model Dev.*, 10: 1703–1732, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-1703-2017>.
- Benešová et al., 2018, New open source emission processor for air quality models. In: Sokhi, R., Tiwari, P.R., Gállego, M.J., Craviotto Arnau, J.M., Castells Guiu, C. Singh, V. (eds) *Proceedings of Abstracts 11<sup>th</sup> International Conference on Air Quality Science and Application*. DOI: 10.18745/PB.19829. (pp. 27). Published by University of Hertfordshire. Paper presented at Air Quality 2018 conference, Barcelona, 12–16 March.
- Byun, D.–Schere, K.L., 2006, Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the Model-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. *Appl. Mech. Rev.* 59(2): 51–77, doi: 10.1115/1.2128636.
- Carslaw, D.C., 2015, The open air manual - open source tools for analysing air pollution data. Manual for version 1.1-4, King's College London. <http://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm>, date: 05/05/2019.
- Britter R., et al., 2007, Background and justification document to support the model evaluation guidance and protocol, COST Action 732, COST office, ISBN: 3-00-018312-4.
- Emery, C.–Tai, E.–Yarwood, G., 2001, Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes. Report to the Texas Natural Resources Conservation Commission, prepared by ENVIRON, International Corp, Novato, CA.
- European Environment Agency, 2011, The application of models under the European Union's Air Quality Directive. A technical reference guide.
- European Environment Agency, 2017, Air quality in Europe – 2017 report. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>.
- <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-2tab-data-by-date>: 3/2018.
- <http://fairmode.jrc.ec.europa.eu/about.html> date: 2/2018.
- Kuenen, J.J.P.–Visschedijk, A.J.H.–Jozwicka, M.–Denier van der Gon, H.A.C., 2014, TNO-MACC II emission inventory; a multi-year (2003–2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling. *Atmos. Chem. Phys.* 14 (2014): 10963–10976. doi:10.5194/acp-14-10963-2014.
- Kushta, J.–Georgiou, G.K.–Proestos, Y. et al., 2019, Evaluation of EU air quality standards through modelling and the FAIRMODE benchmarking methodology. *Air Qual Atmos Health* 12: 73. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0631-z> <https://powietrze.malopolska.pl/en/life-project/> date: 9/2018
- Schaap, M.–Cuvelier, C.–Hendriks, C.–Bessagnet, B.–Baldasano, J.M.–Colette, A.–Thunis, P.–Karam D.–Fagerli, H.–Graff, A.–Kranenburg, R.–Nyiri, A.–Pay, M.T.–Rouil, L.–Schulz, M.–Simpson, D.–Stern, R.–Terrenoire, E.–Wind, P., 2015, Performance of European chemistry transport models as function of horizontal resolution. *Atmospheric Environment*. Vol. 112. 90–105.
- Schlunzen, K.H.–Sokhi, R.S. (eds), 2008, Overview of tools and methods for meteorological and air pollution meso-scale model evaluation and user training, Joint Report of COST Action 728 and GURME, WMO/TD-No.1457, ISBN 978-1-905313-59-4.
- Skamarock, W.C.–Klemp, J.B.–Dudhia, J.–Gill, D.O.–Barker, D.M.–Duda, M.G.–Huang, X.Y.–Wang, W.–Powers, J.G., 2008, A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp. doi:10.5065/D68S4MVH.
- Tesche, T.W.–McNally, D.E.–Tremback, C., 2002, Operational Evaluation of the MM5 Meteorological Model Over the Continental United States: Protocol for Annual and Episodic Evaluation. Prepared for US EPA by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY, and ATMET, Inc., Boulder, CO ([http://www.epa.gov/scram001/reports/tesche\\_2002\\_evaluation\\_protocol.pdf](http://www.epa.gov/scram001/reports/tesche_2002_evaluation_protocol.pdf)) accessed 10 August 2011.
- Thunis P.–Cuvelier C. et al., 2018, Delta user's guide version 5.6.
- US Environmental Protection Agency, 2017, CMAQv5.2 Operational Guidance Document. <https://www.epa.gov/cmaq/cmaq-documentation>
- Wang, W. et al., 2017, User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) modelling System Version 3.9, <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>.





# EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN TURKEY

ZAHIDE ACAR<sup>1</sup>, BARBAROS GÖNENÇGİL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geography, Canakkale Onsekiz Mart University, Terzioğlu Campus, Canakkale, 17020, Turkey, zdeniz@comu.edu.tr

<sup>2</sup> Department of Geography, Istanbul University, Istanbul, 34459, Turkey, barbaros@istanbul.edu.tr

*Drought is a natural hazard that is derived from defective precipitations. If precipitation is not sufficient during a longer period, scarcity of water and drought can be a risk for a living and human activities. Standardized Precipitation Index (SPI) commonly is used for the evaluation of drought frequency and severity. SPI is mainly from rainfall within the time period established by dividing the standard deviation of the mean of the difference obtained. This technique has used an analysis of precipitation data. SPI, usually 3, 6, 9 and 12-month precipitation totals by comparing the degree of moisture is based on statistical techniques.*

*In this study, precipitation data is provided by the Turkish State Meteorological Service. SPI variability is investigated at 156 meteorological stations in Turkey. During the whole period years of 1971, 1972, 1986, 2000, 2001 and 2003 have experienced moderate and severe extreme drought conditions. The years of 1966, 1967, 1975, 1998 and 2010 have experienced extreme and moderate wet conditions.*

**Key words:** standardized precipitation index, Turkey, drought

## 1. INTRODUCTION

Drought could be regarded as a stringently meteorological phenomenon. It could be assessed as a meteorological anomaly described by an extended and unusual moisture deficiency (Palmer, 1965). The Standardized Precipitation Index (SPI) was calculated to quantify the deficiency of precipitation during a period by McKee et al. (1993, 1995). SPI describe both short-time and long-time drought impacts such as 3, 6, 9, 12, 24 and 48-month time scales. In the short-time scale has responded the soil moisture requirements and precipitation anomalies. Streamflow, groundwater and groundwater reservoir respond in the long-time scale.

This pattern has been practiced a lot of countries in Mediterranean Basin such as Turkey (Sönmez et al., 2005), Spain (Vicente-Serrano and Lopez-Moreno, 2005), Greece (Karavitis et al., 2012) and Italy (Di Lena et al., 2014).

Labeledzki (2007) analyzed drought in Central Poland. In this work, about 30% of drought events is identified at 3-, 6-, 12-, 24- and 48-month time scale. According to this study, the most important drought years have experienced in 1991 (moderately dry), 1992 (extremely dry), 1994 (moderately dry), 2000 (moderately dry) and 2003 (moderately dry) in Poland. Droughts are common and often occur more frequently in humid climate zones. Meteorological drought is derived from precipitation. Agricultural drought is effected, meteorological and hydrological drought is an effect of various characteristics in agriculture, it involves reducing evaporation, soil water deficiencies and reduced crop yield (Labeledzki and Bak, 2014).

Drought is experienced a widely and frequently natural disaster over Europe. Recently studies have shown that frequently droughts are experienced due to precipitation variability in Mediterranean Basin. Drought caused by the

lack of rainfall also has a negative effect on the flow of streams all of European countries. This brings with it stronger economic problems.

Bartczak et al. (2014) presented an alternative formation of dry and wet periods in the case of both precipitation and discharge. Drought periods have at the same time low flow periods. Their results show that fluctuations in SPI series effect in tendency to the development of agriculture more than long-term events.

Vicente-Serrano and Lopez-Moreno (2005) compare the SPI values of different surface hydrological variables in a large closed basin in the central Spanish Pyrenees to different time scales. They indicated that the surface flows respond to short SPI time scales. Reservoir storages of the central Spanish Pyrenees respond to longer time scales (7–10 months). However, important seasonal differences could be recognized in the SPI-usable water sources relationships.

Livada and Assimakopoulos (2007) studied drought events in spatiotemporal basis over Greece. Their results indicate that mild and moderate droughts diminish from north-south and from west-east regions of the country on the 3- and 6- month time scale. Severe and extreme drought events are very short on all Greek soil during the 12-month time scale.

Bordi et al. (2001), investigated problems related to the identification and monitoring of drought in Italy. Their results show that all Italian regions are delineated by near-normal conditions in on a 3-month time scale. Puglia and Calabria's regions are partly dry conditions. On a 6-month time scale, the northern Italy characterized partly dry and normal conditions. On longer time scales (12 and 24 months) the central regions characterized normal or partly wet, while Sardegna and Sicilia have experienced by severe drought.

Greece is a semi-arid country, located in Mediterranean basin. This area has very often experienced the hazardous impacts of droughts. The worst drought events in record lasted from 1989 to 1993, and the drought affected the whole Greece. Especially, the urban water supply is overcome with Athens metropolitan area (Karavitis et al., 2012). Their results, in July 1990 exhibit moderate drought conditions the Southern Aegean Islands, Eastern Macedonia and Thrace.

Hayes et al. (1999) analysed the 1996 drought in the southwestern United States. This study has illustrated how the SPI could have been used operationally to follow both the regional and local progression of the drought. Their results show occurrence in late 1995 to its conclusion during the summer and fall in 1996.

Sönmez et al. (2005) examined drought vulnerability at 101 stations for 1951–2001 period and Kömüçü (1999) analysed 40 stations for 1940–97 period in Turkey. They observed significant drought conditions during the end of the 1980s and the trend continued in the late 1990s (Sönmez et al., 2005; Kömüçü, 2002; Sırdaş and Şen, 2003). Kömüçü mentioned an important point SPI analysis over Turkey. The drought events experienced throughout Turkey and the drought events continued for a long time.

In most of the southern and inner parts of European countries have been significant and wide-scale droughts due to inadequate precipitation in similar periods. Long-term and continuing drought events have brought with it significant socio-economic problems in most of the countries. For this purpose, drought monitoring practices are increasingly prevalent in countries experiencing precipitation problems. With the standardized and normalized series, periods of drought meteorological and in the growing season in agricultural can be identified and classified. So, that the struggling of drought events is also becoming more widespread among countries.

Turkey remains within a subtropical climate zone. Turkey climate is characterized mainly Mediterranean climate that mostly controls westerly airflow in the winter, whereas the subtropical anticyclone in the summer. In winter, the activities of cyclones and anticyclones increase the influence of westerly winds that occurring between subtropical high pressure and polar front. A large part of the annual rainfall occurs in the winter season. Northern and north-western part of Turkey have humid-temperate, uniformly rainy climate, and inland and eastern part of Turkey have a continental semi-arid climate. Especially summer season has very often confronted by droughts.

In this study, we examine the experience of drought and wet events in Turkey. The objective of this study is to define Turkey's moderately drought and wet events over 1966–2014 periods. The structure of this paper is as follows. Section 2 defines used data and methods. Section 3 long-term variations in SPI results. Results are presented in section followed by conclusions in section 4.

## 2. DATA AND METHODS

Turkey covers nearly 783.562 km<sup>2</sup> and its topography ranges from coastal (Mediterranean, Aegean, and the Black Sea) lowland, plateau and mountains. The precipitation regime of Turkey has affected mostly westerlies circulations, orography and altitude. In this study, the uniform (homogeneous) monthly precipitation data of 156 meteorological stations which are provided by the Turkish State Meteorological Service and cover the period of 1966–2014. Stations are identified by their number and the station name information (Fig. 1).

The Standardized Precipitation Index (SPI) is a calculation that is being developed by the country applied by many researchers. The formula used in this study is as follows:

$$SPI = \frac{x_i - \bar{x}}{s},$$

where  $x_i$  refers to the monthly precipitation amount,  $\bar{x}$  presents the mean and  $s$  represents the standard deviation of precipitation the whole time series. SPI theoretically distribution is defined as the normal (Gaussian) probability function. SPI shows how far away from the mean value of distribution and in which direction it deviated. Positive values of SPI index show wet events or wet conditions whereas, negative values of SPI index display drought events. The magnitude of the positive and negative values, or the distance from zero, indicates the severity of the humid or arid period. Especially, the value of  $-2$  is an important critical value for the severity of drought.

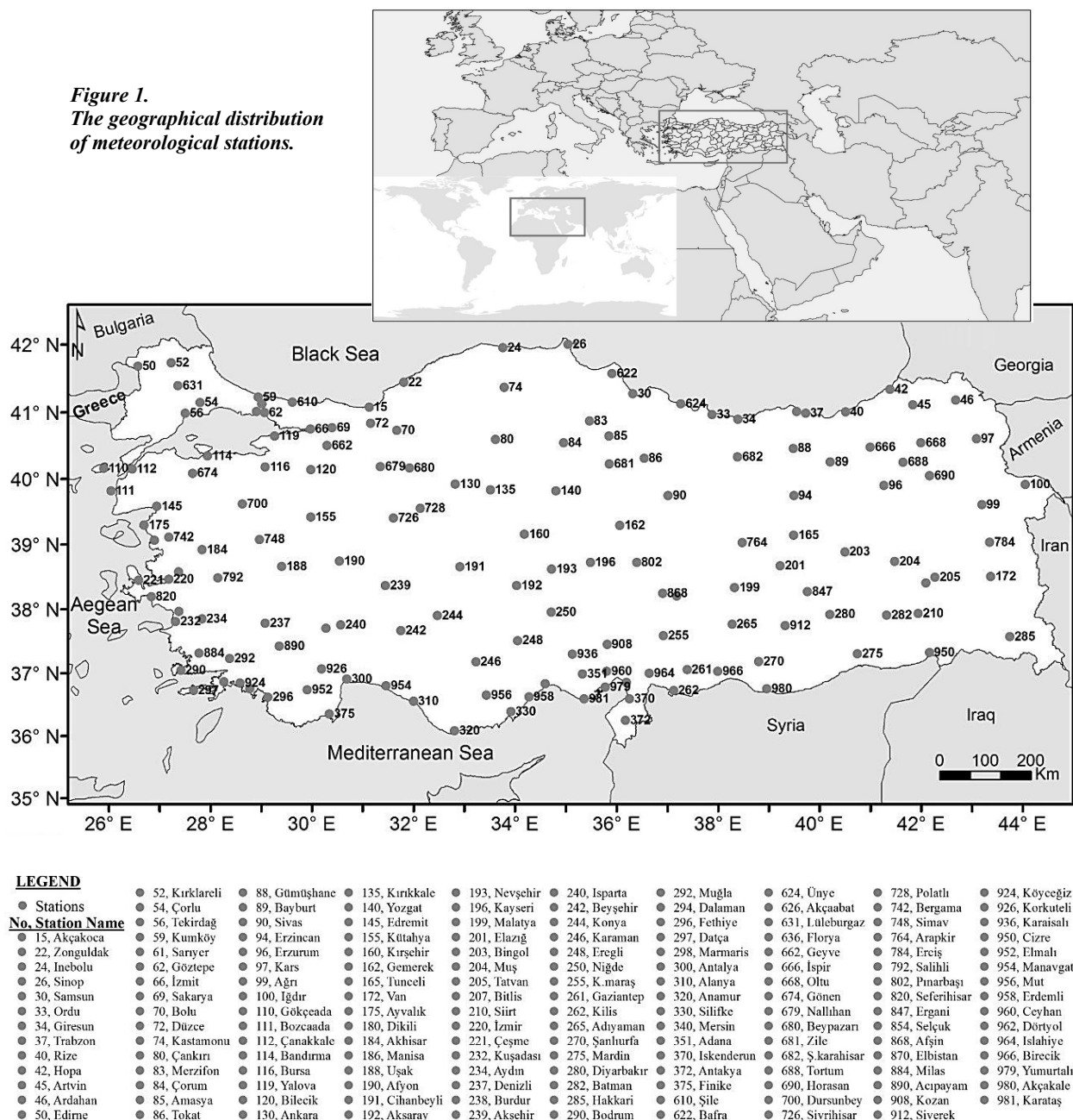
SPI is calculated on the basis of selected periods of time (generally 1, 3, 6, 9 and 12 months). The best practical range application of SPI is 24 months range (Guttman, 1994, 1999). This index indicates wetter and drier conditions of the period. Positive and negative values show wetter and dry conditions, respectively (Tab. 1).

**Table 1. Cumulative probabilities for SPI values and possible interpretation.**

| SPI  | Cumulative probability | Interpretation                     |
|------|------------------------|------------------------------------|
| -3.0 | 0.0014                 | extremely dry                      |
| -2.5 | 0.0062                 | extremely dry                      |
| -2.0 | 0.0228                 | extremely dry (SPI < -2.0)         |
| -1.5 | 0.0668                 | severely dry (-2.0 < SPI < -1.5)   |
| -1.0 | 0.1587                 | moderately dry (-1.5 < SPI < -1.0) |
| -0.5 | 0.3085                 | near normal                        |
| 0.0  | 0.5000                 | near normal                        |
| 0.5  | 0.6915                 | near normal                        |
| 1.0  | 0.8413                 | moderately wet (1.0 < SPI < 1.5)   |
| 1.5  | 0.9332                 | very wet (1.5 < SPI < 2.0)         |
| 2.0  | 0.9772                 | extremely wet (2.0 < SPI)          |
| 2.5  | 0.9938                 | extremely wet                      |
| 3.0  | 0.9986                 | extremely wet                      |

A 1-month SPI map is very similar to a map showing the normal precipitation percentage for a 30-day period (WMO, 2012). This index shows short-time conditions such as meteorological drought. Therefore, we used the 3, 6, 9 and 12-month time scales SPI values interpreted for the wet and dry conditions in this study.

**Figure 1.**  
The geographical distribution  
of meteorological stations.



### 3. RESULTS

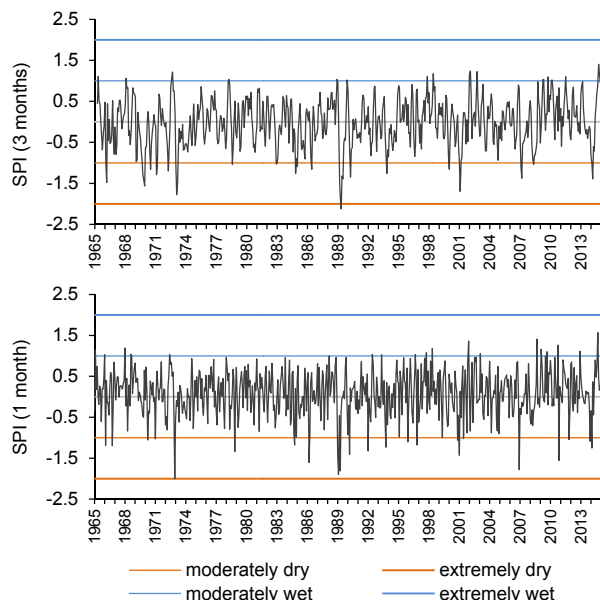
Inland stations have more terrestrial characteristics in Turkey. Precipitation characteristics of this area display diversity depending on the distance to the sea, continentality, altitude, and air circulation. The most decisive climatic elements are air circulation, proximity to sea and altitude.

The 1-month SPI displays short-period conditions. Its application could be associated nearly meteorological types of drought along with short-time soil moisture and crop stress, mainly during the growing season. 3-monthly SPI supplies a similarity of the precipitation over a specific 3-months period with the precipitation totals from the same 3-months period for all the years incorporated in the historical evidence (WMO, 2012).

In the present study, 1-, 3-, 6-, 9- and 12-month time range for each station, the frequency of wet and drought conditions were analysed SPI values. In Turkey, the frequency of severely and extreme drought conditions have experienced 1972 (January to March, December is extremely drought month), 1986 (March), 1989 (January to May), 2006 (December to 2007 May) and 2010 (November) years, for the 1-month time scale. 2014 September year has extremely wet months during the 1966–2014 period. According to 3-month scale, 1969 (June to 1970 February), 1973 (January to 1974 May), 1989 (March to November), 2001(2000 December to May) years have experimented severely and extremely drought conditions on a 3-month time scale (Fig. 2).

6-months SPI values show seasonality or seasonal trends in precipitation. Figure 3 displays the evolution of 6-months SPI in Turkey. 6-month time scale is recognized dry periods in 1989 (May to July) extremely drought time during the 1964–2014 period.

**Figure 2. Variation of SPI values at the 1- and 3-months in Turkey during 1966–2014.**



**Figure 3. Variation of SPI values at the 6-, 9- and 12-months in Turkey during 1966–2014.**

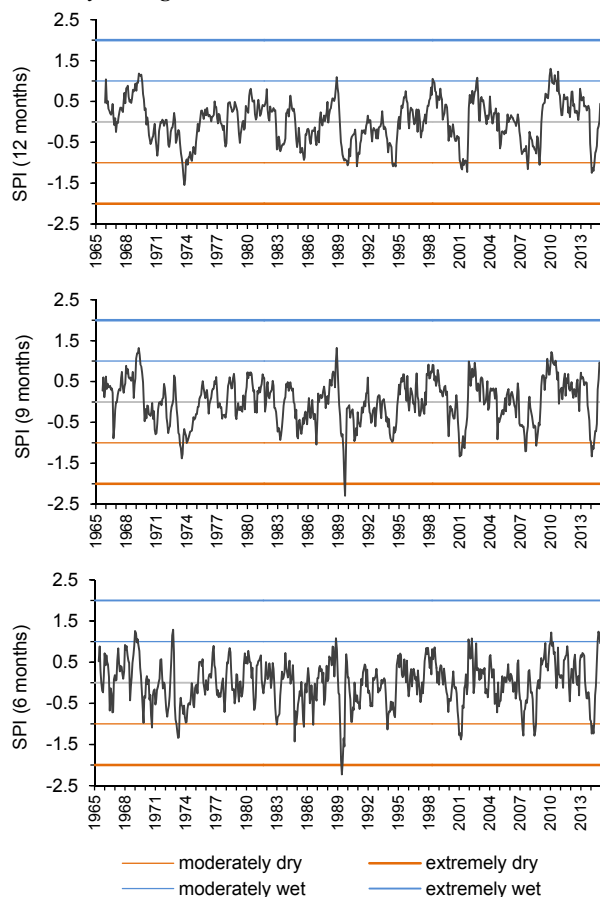


Figure 4 shows identification of the main drought periods recorded in northern part of Turkey in 1970. In 1970, the SPI values dropped below the 0 in most of the stations experiment moderately dry conditions. Especially, the north-western part of Turkey has experienced severe drought year in 1970. The drought began in September 1969, with is a peak in January 1970 and dissipated the end of 1971 (Fig. 4).

Severely dry conditions have experienced in 1970, 1973, 1984, 1993, 2001, 2007, 2008 and 2014 years in Turkey. Severe drought conditions were observed in 1989 May to July on the 6-months scale in the most of stations, where extremely drought frequencies had -2 SPI values. Especially, the eastern part of Turkey has experienced extremely dry in 1989 summer season. The drought started in February 1989, with is extreme in June and spread the October 1989 (Fig. 5).

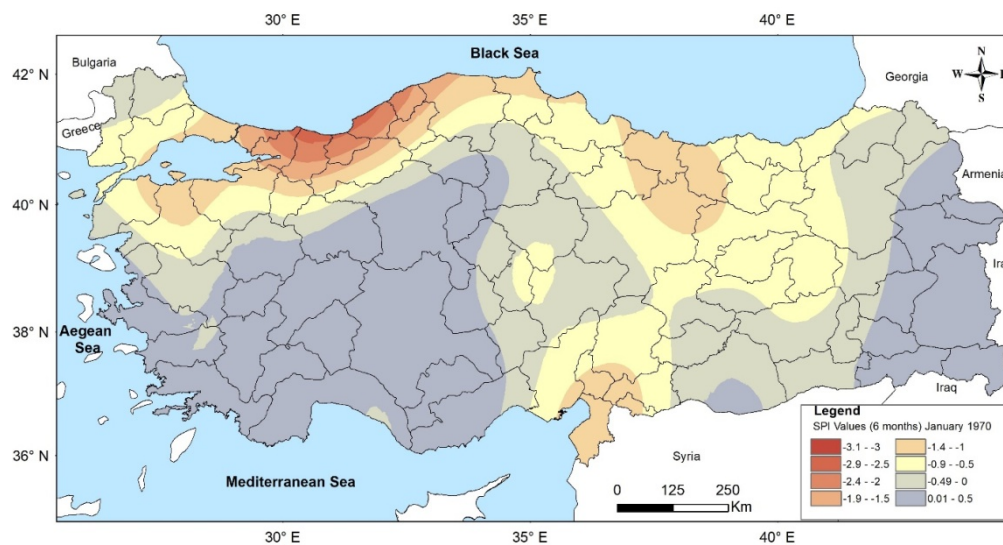
The 9-month SPI supply an evidence of through seasonal precipitation patterns during a medium time period (WMO, 2012). In this period, SPI values below -1.5 are demonstrated dryness and water scarcity. In the Figure 3, 1970–1975, 1984–1987, 1989–1994, 1999–2001, 2006–2009 periods are observed drought conditions, whereas the wet conditions are shown in 1965–1969, 1975–1989, 1994–1999, 2001–2006, 2009–2013 periods. Droughts may take a season or longer than a season on 9- and over a period of 9-months scale.

The SPI at these time lines, SPI reproduces long-term precipitation patterns. A 12-month SPI is compared to the 12-month rainfall recorded over the 12-month period of the previous 12-year period for all available data. For these cumulative results of shorter time periods, longer SPIs tend to pull toward zero as long as they have a distinct wet or dry tendency (WMO, 2012). Drought conditions were observed in Turkey over the periods 1970–1975, 1984–1987, 1989–1994, 1999–2001 and 2004–2009. Turkey has experienced drier conditions after 1990 in most of Mediterranean rainfall regime region (Mediterranean Sea coastline and Aegean region).

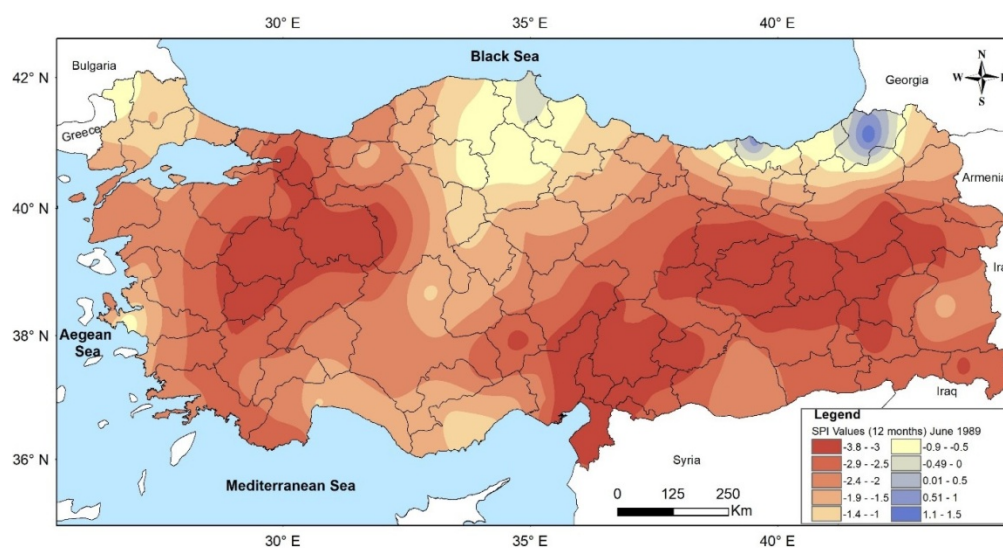
Severe and more drought conditions were also observed in northern and north-western part of Turkey in 1970 January (Fig. 6). Gönen station has experienced extremely dry conditions in 1970 January. Zonguldak and Ardahan have experiment significant drought conditions at the same time. During 1970 have been particularly significant drought conditions in northern part of Turkey where the highest precipitation occurs.

In 1973, the SPI values dropped the -2 in southern and inland part of Turkey. In these areas have experimented extremely dry conditions and the 125 stations have experienced moderately dry conditions during 1972 and 1973 (Fig. 7 and 8). In December 1972, SPI indicated negative values all over Turkey except south-eastern part and western part of Black Sea Region. Similarly, all over Turkey (except 3 stations) showed negative values of SPI. 1972 and 1973 years have experienced significant drought problem over Turkey. SPI values below -1.5, western, southern and inland part of the study area were scarcity and impacted on agriculture.

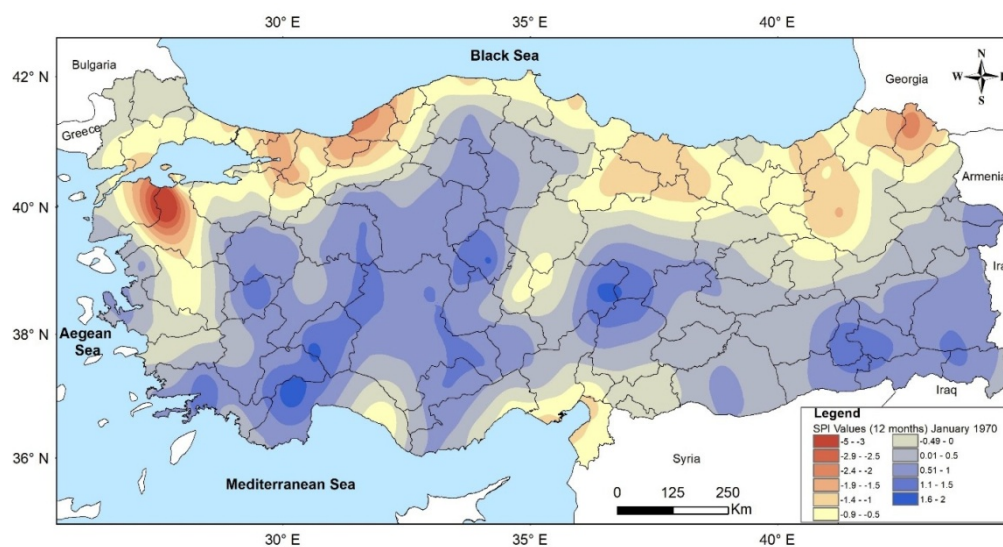
**Figure 4. SPI 6 months in January 1970 (winter season).**



**Figure 5. SPI 6 months in June 1989 (summer season).**

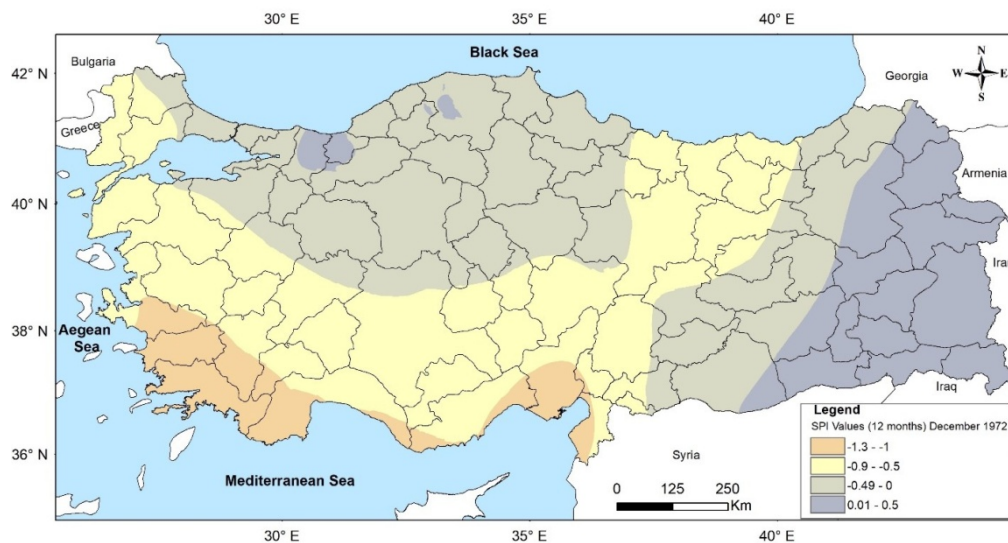


**Figure 6. SPI 12 months in January 1970.**

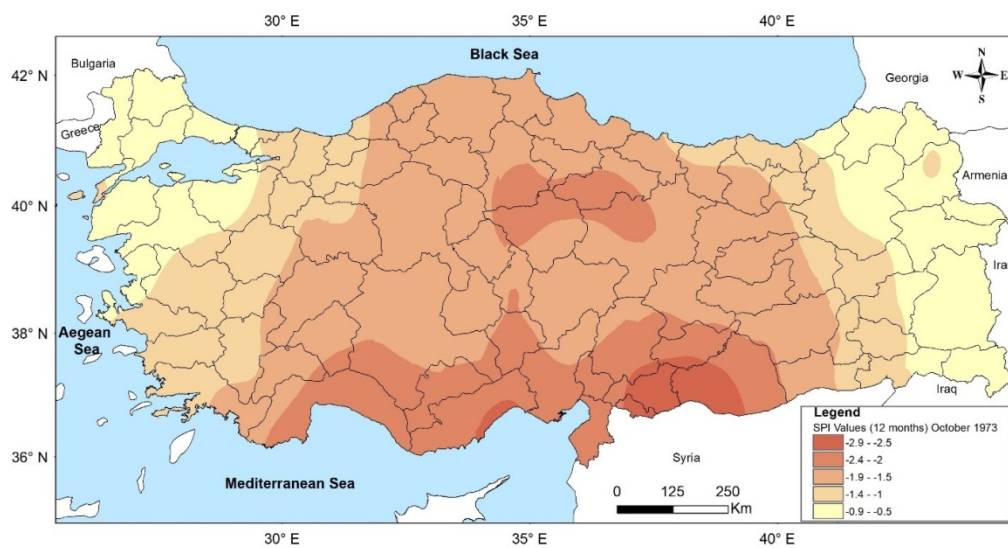




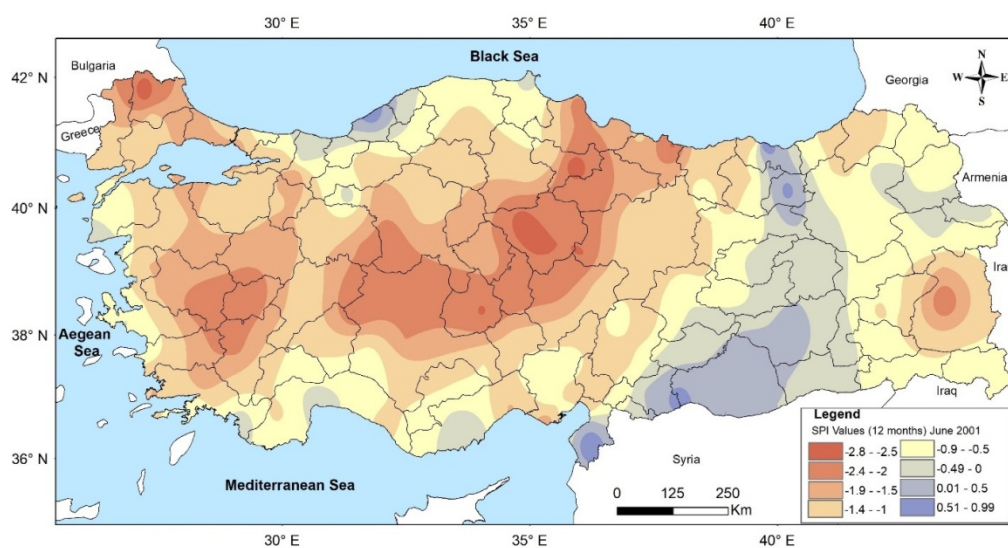
**Figure 7. SPI 12 months in December 1972.**



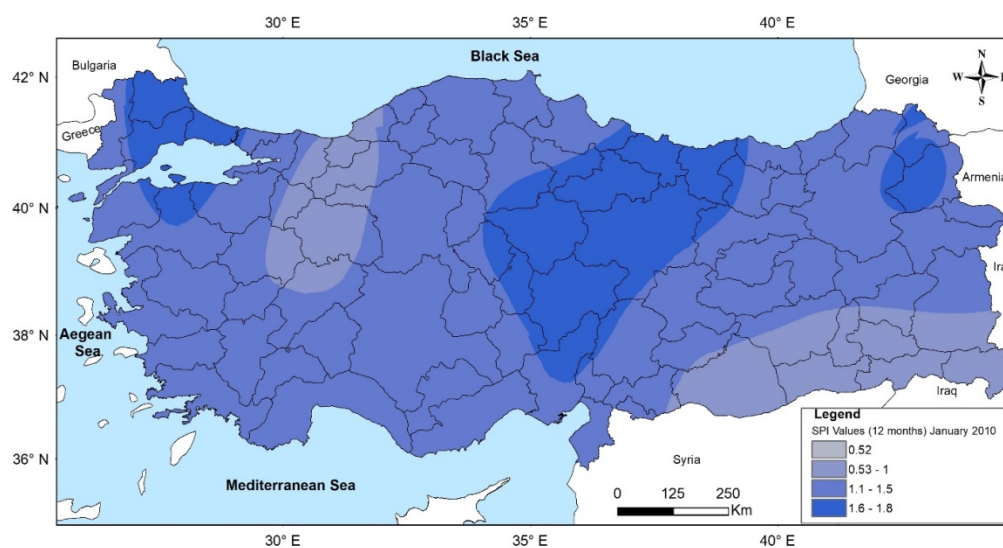
**Figure 8. SPI 12 months in October 1973.**



**Figure 9. SPI 12 months in June 2001.**



**Figure 10. SPI 12 months in January 2010.**



Other significant drought years are displayed in 1986, 2000, 2001, and 2003. In the summer season, 9-months SPI values for the June, July, and August show wet (1969, 2010, 1988, and 2002) and drought (1989, 1973, 2007 and 2001) years. Drought conditions are similar in most of the stations in 1973, 1989, 2001 and 2007 years. Almost all of the stations experienced more severe droughts events in 2001 summer (Fig. 9). Figure 9 shows the spatial distribution of SPI values over Turkey. During the summer months of 2001, whole Turkey has experienced drought conditions. In the 2001 year, SPI values are below  $-1.5$  that the value is defined as a severe dry month. Especially, inland and western part of Turkey indicated drought events in 2001 summer season.

Spatial patterns of SPI are presented in wetter season 2010 year. Figure 10 shows positive SPI values are more than the negative values. Negative values are shown only four stations. North-western and north-eastern parts of Turkey, the central part of Black Sea region and Aegean coastline shows above normal precipitation distribution in 2010.

#### 4. CONCLUSION

In this study, we investigated dry and wet status by using the standardized precipitation index (SPI). The index performed on monthly precipitation dataset of 156 stations in Turkey. Drought may display different effects at different times. Therefore, SPI is calculated 3, 6, 9 and 12-months periods.

SPI 1-, 3- and 6-month time scales were observed moderate drought terms according to classification SPI values. 1972, 1989, 2006, 2010 years are the significant drought conditions in Turkey on the 1- month time scale. 1973, 1989 and 2001 were driest years in Turkey on the 3-month time scale.

The SPI values on 9-month time scale were detected seasonal drought conditions in 1989, 1973, 2007 and 2001 whereas, wet conditions were found in 1969, 2010, 1988,

2002 years. The study of the time series of the SPI values on 12-month time scale displayed drought conditions in the period of 1970–1975, 1985–1990 and 2000–2001. The time series of the 12-month SPI values show reflects long-term precipitation patterns. WMO (2012) reported that the time lines of these SPIs are based on time flows, on-site stream flows, reservoir levels and even groundwater levels. Drought conditions have experienced in all of Turkey over the periods 1970–1975 and 1985–1990, 2000–2001. Our results are similar to the results of the studies for Greece and Italy.

Especially, the dry periods coincide with each other (Livada and Assimakopoulos, 2007; Rossi and Sonna, 1995). In many countries to the east of the Mediterranean basin, there are significant increases in drought events after 1990s (i.e. Spain, Italy, Greece and Turkey). There are significantly change in the amount of precipitation amount that occurs every year.

Wet periods were identified 1966–1970, 1979–1982 and 2010–2013. 2010 and 1969 were wetter years in the period of 1966–2014. In this study contributed to the background of previous studies as follows; the evaluations were made for periods that were both seasonally and temporally dry and humid, different studies were carried out for Turkey. The arid and wet years were determined the period of 1966–2014. Critically dry and important wet years were prepared maps. In the last few years, evaluations have been made on the areas in which rainfall is affected and the evaluations are supported by maps.

Finally, extreme wet and drought events have displayed in 2010 and 2001 years, respectively. Wet conditions have experienced in north-western and north-eastern parts of Turkey, the central part of Black Sea region and Aegean coastline. Drought conditions have experienced whole western part and inland regions. The severe and drought conditions base on the lower precipitation amounts and lack of precipitation. The drought or severe drought is related to the inadequacy of precipitation amounts since the

1990s in Turkey. Especially, the increasing of anti-cyclone systems and the disappearance of precipitation formation conditions in the rainy season. This method (SPI) could provide information for decision-making and planning of activities to decrease negative effects of droughts. The drought and severe drought events can be calculated by the methods such as SPI and may be contributed to development of modelling for future droughts. Nowadays, drought is most important climatic disasters. Particularly short or long-term droughts in areas where the seasonality of precipitation is high, brings about significant socio-economic problems. In the most of these areas the effects of climate change are also quite apparent. One of the obvious effects of climate change is considered as extreme events. Depending on the frequency and severity of extreme events, there are occasional occurrences of long-term droughts or short-term heavy rainfall events.

## REFERENCES

- Bardczak, A.–Glazik, R.–Tyszkowski, S., 2014, *The application of Box–Cox transformation to determine the Standardised Precipitation Index (SPI), the Standardised Discharge Index (SDI) and to identify drought events: Case study in Eastern Kujawy (Central Poland)*, *Journal of Water and Land Development*, No. 22 (vii–ix): 3–15.
- Bordi, I.–Frigio, S.–Parenti, P.–Speranza, A.–Sutera, A., 2001, *The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean area: large-scale patterns*, *Annali Di Geofisica*, 44: 5/6, 965–978.
- Di Lena, B.–Vergni, L.–Antenucci, F.–Todisco, F.–Mannocchi, F., 2014, *Analysis of drought in the region of Abruzzo (Central Italy) by the Standardized Precipitation Index*, *Theoretical Applied Climatology*, 115: 41–52.
- Guttman, N.B., 1994, *On the sensitivity of sample L moments to sample size*, *Journal of Climate*, 7(6): 1026–1029.
- Guttman, N.B., 1999, *Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm*, *Journal of American Water Resources Association*, 35: 311–322.
- Hayes, M.J.–Svoboda, M.D.–Wilhite, D.A.–Vanyarkho, O.V., 1999, *Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 429–438.
- Karavitis, C.A.–Chortaria, C.–Alexandris, S.–Vasilakou, C.G.–Tsesmelis, D.E., 2012, *Development of the standardised precipitation index for Greece*, *Urban Water Journal*, 9: 401–417.
- Komuscu, A.U., 1999, *Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey*, *Drought Network News* (1994–2001), 49, <http://digitalcommons.unl.edu/drought-netnews/49>.
- Komuscu, A.U., 2002, *An analysis of recent drought conditions in Turkey in relation to circulation Patterns*, *Drought Network News*, 1356.
- Labedzki, L., 2007, *Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI*, *Irrigation and Drainage*, 56: 67–77.
- Labedzki, L.–Bak, B., 2014, *Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review*, *Meteorology, Hydrology and Water Management Research and Operational Applications*, V.2, Issue.2, 3–13.
- Livada, I.–Assimakopoulos, V.D., 2007, *Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)*, *Theoretical and Applied Climatology*, 89:143–153.
- McKee, T.B.–Doesken N.J.–Kleis, J., 1993, *The relationship of drought frequency and duration to time scale*. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
- McKee, T.B.–Doesken N.J.–Kleis, J., 1995, *Drought monitoring with multiple timescales*. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, Dallas, Texas, 15–20 January 1995. Boston American Meteorological Society, 233–236.
- Palmer, W.C., 1965, *Meteorological drought*. Weather Bureau Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce: Washington, D.C.
- Rossi, G.–Sonna, F., 1995, *Severe drought in Italy: characteristics, impact and mitigation strategies*, *Drought Network News*: October 1995.
- Sirdaş, S.–Şen, Z., 2003, *Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey*, *Hydrological Sciences Journal of Sciences Hydrologiques*, 48(5), 809–820.
- Sönmez, F.K.–Kömuşçü, A.Ü.–Erkan, A.–Turgu, E., 2005, *An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index*, *Natural Hazards*, 35:243–264.
- Vicente-Serrano, S.M.–Lopez-Moreno, J.I., 2005, *Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9 (5): 523–533.
- WMO, 2012, *Standardized Precipitation Index User Guide*, World Meteorological Organization, 7–9.
- Zhang, Q.–Yu Xu, C.–Zhang, Z., 2009, *Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index*, *Theoretical and Applied Climatology*, 98: 89–99.

# TRENDY VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK SNEHOVEJ POKRÝVKY NA SLOVENSKU V OBDOBÍ 1981/1982 – 2017/2018

CYRIL SIMAN<sup>1,2</sup>, JAROSLAVA SLÁVKOVÁ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, Oddelenie hydrológie povrchových vôd, Bratislava, siman@uh.savba.sk

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor Meteorologické predpovede a výstrahy, Bratislava

<sup>3</sup> Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky fyziky a informatiky, Katedra astronómie, fyziky zeme a meteorológie, Bratislava, Jaroslava.Slavkova@fmph.uniba.sk

*Development of selected snow cover characteristics in Slovakia for the period 1981/82–2017/18 was evaluated in this contribution. Data about daily height of snow cover from 31 climatological stations of Slovak Hydrometeorological Institute was used. Linear least squares regression trend analysis was performed on the following snow cover characteristics: number of days with snow cover 1 cm, 10 cm and 20 cm and more, but also for the sum of snow cover, average height of snow cover, first and last day of snow cover and period of snow cover. Significance of trends was tested on statistical significance at the 0.05 significance level using the Student's t-statistic. Analysis showed that at lower altitudes, there is a decrease in days with the snow cover of 1, 10 and 20 cm or more, the decrease of the sum and the average height of the snow cover and the shortening of the duration of snow cover season. Significant, and in several stations, also statistically significant, is also the shift of the last day with the snow cover to an earlier date. In the Tatras area, on the other hand, it is possible to see the increase in the number of days with snow cover of 20 cm or more, this corresponds also to the increase in the sum of the snow cover and the average height of the snow cover.*

*V článku je analyzovaný vývoj vybraných charakteristík snehovej pokrývky na území Slovenska v období 1981/82–2017/18. Použité boli denné údaje o výške súvislej snehovej pokrývky z 31 klimatologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu. Regresná trendová analýza bola vykonaná na nasledujúcich charakteristikách snehovej pokrývky: počet dní so snehovou pokrývkou 1 cm, 10 cm a 20 cm a viac, ale tiež pre sumu snehovej pokrývky, priemernú výšku snehovej pokrývky, prvý a posledný deň so snehovou pokrývkou a dĺžku trvania obdobia snehovej pokrývky. Významnosť trendov bola testovaná Studentovým t-testom na hladine významnosti  $\alpha$  0,05. Analýza ukázala, že v nižších polohách dochádza k poklesu v počte dní so snehovou pokrývkou 1 cm, 10 cm a 20 cm a viac, poklesu v sume snehovej pokrývky, poklesu priemernej výšky so snehovou pokrývkou, ale tiež k skracovaniu dĺžky obdobia snehovej pokrývky. Štatisticky významný bol na niekoľkých staniciach posun posledného dňa so snehovou pokrývkou na skoršie dátumy. V tatranskej oblasti, na druhej strane, bolo možné vidieť nárast v počte dní so snehovou pokrývkou 20 cm a viac, čo tiež súhlasí s nárastom sumy snehovej pokrývky a priemernej výšky snehovej pokrývky.*

**Key words:** snow cover, trend analysis, winter season, Slovakia

## ÚVOD

Sledovanie medzoročnej variability hlavných komponentov kryosféry, t. j. napríklad rozlohy morského zaľadnenia a plochy zemského povrchu pokrytého snehovou pokrývkou, je dôležité z hľadiska detekcie zmien klímy, v neposlednom rade tiež validácie klimatických modelov (Brown, 2000). Rozsah snehovej pokrývky je dôležitou súčasťou planetárneho albeda a v období konzistentných satelitných meraní (po roku 1971) bol preukázaný blízky vzťah medzi rozlohou snehovej pokrývky a hemisférickou teplotou vzduchu (Robinson a Dewey, 1990). Tento vzťah je v súlade s pozitívnou spätnou väzbou medzi rozsahom snehovej pokrývky a hodnotou planetárneho albeda.

Význam snehovej pokrývky je však vysoko uznávaný nie len na globálnej, ale aj na regionálnej, či lokálnej úrovni, a to predovšetkým v hydrologickom cykle sladkej vody (Lemke a kol., 2007). V mnohých častiach sveta je sladká voda akumulovaná najprv vo forme snehu a až následne sa po jeho roztopení dostáva do pôdy, podzemných vôd, vodných nádrží a riek (Zappa a kol., 2019).

Snehová pokrývka je jeden zo základných meteorologických a klimatických činiteľov, je dôležitá z hľadiska

viacerých odvetví národného hospodárstva a ľudskej činnosti vôbec. Vytvára vrstvu so špecifickou bilanciou žiarenia a šírenia tepla v prízemnej vrstve ovzdušia, čo ovplyvňuje celý rad prírodných procesov (Šamaj a Valovič, 1988). Má veľký význam najmä na začiatku vegetačného obdobia, pričom vlaha z topiaceho sa snehu pozitívne vplyva na optimálny rast poľnohospodárskych plodín. Podľa Křístek a kol. (2011) je sneh faktorom prostredia, ktorý významne interaguje so všetkými zložkami ekosystémov. Poznávanie jeho vlastností je dôležité nielen v meteorológii, klimatológii a hydrológii, ale tiež v geografii, geológii, ekológii, geobotanike, poľnohospodárstve a lesníctve.

Medzi základné parametre ovplyvňujúce kvalitu a kvantitu snehovej pokrývky patrí teplota vzduchu a atmosférické zrážky. Detegovaný a predpovedaný vzrast globálnej teploty vzduchu tak môže snehovú pokrývkou negatívne ovplyvniť (Pribullová a kol., 2009). Pokles snehovej pokrývky bol zaznamenaný v nižších polohách na severnej pologuli, kde sa prejavil tesnejší vzťah medzi variabilitou teploty vzduchu a snehovou pokrývkou (IPCC, 2007). Bolo zaznamenané aj zhoršenie snehových podmienok v niektorých lyžiarskych strediskách na Slovensku (Holko a Kostka, 2007).

Vzhľadom na rýchlo prebiehajúcu zmenu klímy (IPCC, 2018), ktorú si však klimatológovia všimli už v priebehu 20. st. (Konček, 1957; Petrovič, 1952; Chromov, 1968) a v neposlednom rade sa o nej píše napríklad aj v tretej národnej správe o zmene klímy (2001), sme sa rozhodli spracovať vybrané charakteristiky snehovej pokrývky na území Slovenska v sezónach 1981/82–2017/2018. V uvedenom období sa vyskytlo niekoľko zím veľmi chudobných na snehovú pokrývku (1997/98, 2006/07, po roku 2010 napr. 2013/14), ale tiež na sneh pomerne bohaté zimy (1986/87, 1995/96, po roku 2010 to bola napríklad zima 2012/13).

## ÚDAJE A METODIKA PRÁCE

V súvislosti s teóriou globálneho otepľovania, významom snehovej pokrývky v hydrologickom cykle a v problematike sucha, berúc do úvahy aj niektoré na sneh chudobné zimné obdobia v posledných rokoch, sme sa rozhodli vyhodnotiť trendy vývoja snehovej pokrývky na území Slovenska. Cieľom bolo preukázať alebo vyvrátiť, či sa snehové podmienky na území Slovenska dlhodobo zhoršujú alebo naopak zlepšujú, a v ktorých regiónoch.

V článku prezentujeme spracovanie vybraných charakteristík snehovej pokrývky na území Slovenska v období 1981/82–2017/18, so zreteľom na vyhodnotenie vývoja a štatistickú významnosť trendov charakteristík snehovej pokrývky. Denné údaje o výške snehovej pokrývky z 31 staníc nám poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav (Obr. 1).

Metodika hodnotenia vybraných charakteristík snehovej pokrývky vychádzala najmä z práce Sneh a snehová pokrývka na Slovensku (Konček a Briedoň, 1964) a zborníka SHMÚ zv. 14/III (Šamaj a Valovič, 1988). Námetom

pre analýzu závislosti trendov charakteristík snehovej pokrývky od nadmorskej výšky (Obr. 10) bola práca Vojtek a kol. (2003) a Voigt a kol. (2010).

Snehovú pokrývku sme vyhodnotili pre zimné obdobie v širšom slova zmysle (november až apríl), pričom sme sa zamerali na vyhodnotenie počtu dní so snehovou pokrývkou a sumy snehovej pokrývky, priemernej výšky snehovej pokrývky a charakteristických dátumov výskytu snehovej pokrývky (prvý a posledný deň so snehovou pokrývkou, dĺžka obdobia snehovej pokrývky).

*Počet dní so snehovou pokrývkou* uvádzame ako sumu dní so súvislou snehovou pokrývkou určitej výšky (1 cm, 10 cm a 20 cm a viac), ktorá sa vyskytla počas zimného obdobia. Dni s nesúvislou snehovou pokrývkou alebo s popraškom neboli do analýzy zahrnuté.

*Suma snehovej pokrývky* bola vypočítaná ako súčet denných výšok snehovej pokrývky zimného obdobia.

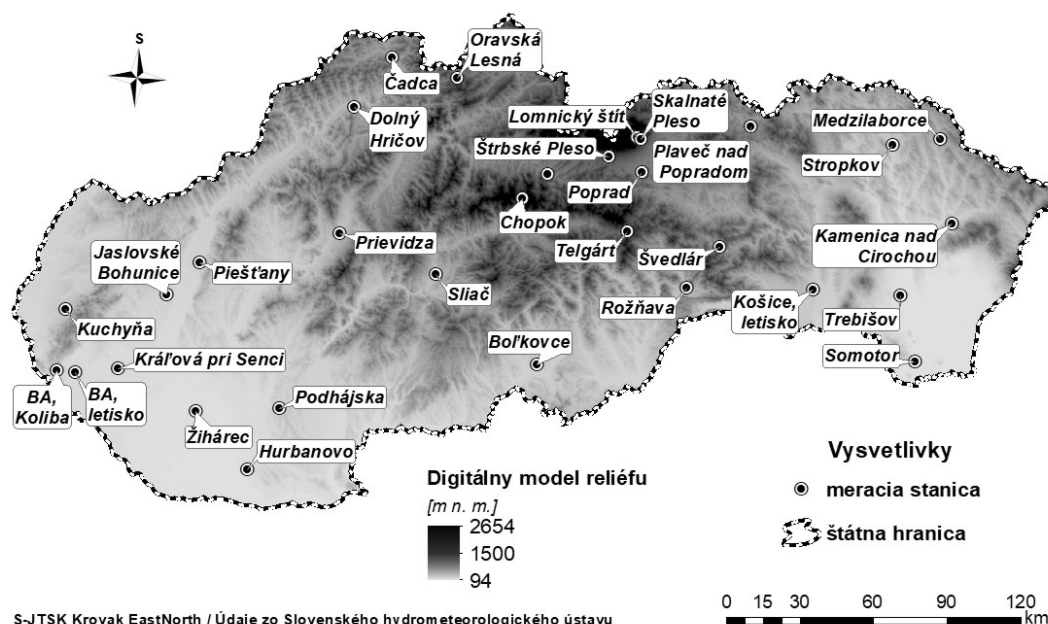
*Priemerná výška snehovej pokrývky* predstavuje súčet denných výšok snehovej pokrývky delený počtom dní so snehovou pokrývkou zimného obdobia (november–apríl).

*Za prvý, respektíve posledný deň so snehovou pokrývkou* považujeme taký deň, v ktorý ráno o 7:00 h ležala v okolí pozorovacej stanice (v meteorologickej záhradke) súvislá snehová pokrývka 1 cm a viac, prvýkrát/poslednýkrát v danej sezóne.

Obdobie, ktoré začína prvým dňom so snehovou pokrývkou a končí posledným dňom so snehovou pokrývkou nazývame *obdobím snehovej pokrývky*, a to aj napriek tomu, že snehová pokrývka môže byť počas tohto obdobia niekoľkokrát prerušená. Na stanicích Chopok a Lomnický štít sme prvý a posledný deň so snehovou pokrývkou, ako aj obdobie snehovej pokrývky, nehodnotili, pretože sa tu snehová pokrývka pomerne často vyskytovala aj v letných mesiacoch (na Lomnickom štíte je výskyt snehovej pokrývky aj v niektorom z letných mesiacov bežným javom).

**Obrázok 1. Poloha vybraných klimatických staníc na území Slovenska (metadáta k staniciam: <<https://lnk.sk/rY16>>).**

Figure 1. Location of selected climatological stations in Slovakia territory (station metadata: <<https://lnk.sk/rY16>>).





Časový vývoj uvedených charakteristík snehovej pokrývky sme určili na základe regresných koeficientov lineárnej regresnej analýzy. Významnosť regresných koeficientov (trendov) sme ohodnotili Studentovým t-testom. Trend sme považovali za významný pokiaľ bola Studentova premenná  $t$  väčšia než kritická hodnota Studentovho rozdelenia na hladine významnosti  $\alpha=0,05$  pre daný počet stupňov voľnosti.

Okrem mapového spracovania trendov jednotlivých charakteristík snehovej pokrývky ponúkame aj sumárne spracovanie v tabelárnej forme (Tab. 1 a 2) a spracovanie závislosti 10-ročných trendov jednotlivých charakteristík od nadmorskej výšky prostredníctvom grafov (Obr. 10). V tabuľke 1 sú uvedené priemerné hodnoty vybraných charakteristík snehovej pokrývky za celé sledované obdobie (1981/82–2017/18). V tabuľke 2 sú uvedené ich konkrétne desaťročné trendy pre jednotlivé stanice. Desaťročné trendy boli určené na základe smernice lineárnej regresnej priamky. Štatisticky významné trendy boli v tabuľke 2 zvýraznené tmavosivou farbou a tučným písmom. V grafoch na obrázku 10 je zobrazená závislosť 10-ročných trendov od nadmorskej výšky (nadmorská výška na osi y je v logaritmickej škále). Desaťročné trendy boli vytiahnuté z tabuľky 2.

Interpretácia desaťročných trendov v tabuľke 2 a v grafoch na obrázku 10 je nasledovná: Napríklad, v prípade stanice Kuchyňa, ide pri počte dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac (stĺpec s označením A) o pokles (znamienko -) v počte dní za desať rokov o 5 dní. V prípade sumy a prie

mernej výšky snehovej pokrývky ide na rovnakej stanici o pokles sumy o 75 cm a pokles priemernej výšky snehovej pokrývky o 1 cm za 10 rokov. A nakoniec, v prípade obdobia snehovej pokrývky, sa jeho trvanie na stanici Kuchyňa skraca za 10 rokov o 5 dní, prvý deň so snehovou pokrývkou sa posúva o 2 dni na neskorší dátum (znamienko +) a posledný deň sa posúva o dva dni na skorší dátum.

Nie na všetkých staniciach sme mali k dispozícii celý 37 ročný rad údajov o snehovej pokrývke. Konkrétne zo stanice Rožňava chýbali údaje zo sezóny 2017/18 a preto sme tu trendy vývoja charakteristík snehovej pokrývky vyhodnotili len pre obdobie 1981/82–2016/17. Na stanici Somotor chýbali údaje z posledných troch sezón (2015/16; 2016/17; 2017/18). Trendová analýza tak bola na tejto stanici vyhodnotená pre obdobie 1981/82–2014/15). Špecifická situácia bola na stanici Plaveč nad Popradom, kde chýbala časť údajov zo sezóny 2015/16 (konkrétne od 2.1.–29.2.2016). Na tejto stanici sme trend vývoja pre všetky charakteristiky snehovej pokrývky, s výnimkou prvého dňa so snehovou pokrývkou, vyhodnotili pre obdobie 1998/99–2014/15. V prípade charakteristiky *prvý deň so snehovou pokrývkou* bolo možné vyhodnotiť trend vývoja pre všetkých 37 zimných sezón, keďže prvý deň so snehovou pokrývkou sa vyskytol ešte 11. 10. 2015, teda nie v čase výpadku merania v rámci sezóny 2015/16.

Charakteristiky snehovej pokrývky sme spracovali v programe Excel 2010 a Python 3.7. Štatistická významnosť trendov bola vyhodnotená v programe R a mapy boli zhotovené v programe ArcMap 10.2.

**Tabuľka 1.**  
**Priemerné hodnoty vybraných charakteristík snehovej pokrývky v období 1981/82 – 2017/2018 (ssp = súvislá snehová pokrývka).**

Table 1.  
Average values  
of selected characteristics  
of snow cover in the period  
1981/82 – 2017/2018  
(ssp = continuous snow cover).

A = priemerný počet dní so ssp  
1 cm a viac  
B = priemerný počet dní so ssp  
10 cm a viac  
C = priemerný počet dní so ssp  
20 cm a viac  
D = priemerná suma snehovej  
pokrývky  
E = priemerná výška snehovej  
pokrývky  
F = prvý deň so snehovou pokrývkou  
G = posledný deň so snehovou  
pokrývkou  
H = obdobie snehovej pokrývky  
N = charakteristika sa nehodnotila

| Názov stanice      | Charakteristiky snehovej pokrývky |       |       |         |       |       |       |       |
|--------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
|                    | A                                 | B     | C     | D       | E     | F     | G     | H     |
| Kuchyňa            | 39,6                              | 14,8  | 5,0   | 379,5   | 8,1   | 332,0 | 58,8  | 93,1  |
| BA, Koliba         | 56,1                              | 30,2  | 12,3  | 721,5   | 11,4  | 331,1 | 77,5  | 112,6 |
| BA, letisko        | 34,5                              | 14,9  | 3,9   | 359,6   | 8,0   | 335,4 | 56,7  | 87,6  |
| Kráľová pri Senci  | 32,0                              | 13,4  | 2,3   | 284,6   | 7,3   | 345,8 | 54,0  | 72,0  |
| Jaslovské Bohunice | 40,0                              | 12,5  | 2,3   | 313,1   | 6,7   | 336,4 | 62,0  | 91,9  |
| Žihárec            | 32,5                              | 10,1  | 2,0   | 254,2   | 6,6   | 341,2 | 58,5  | 83,5  |
| Piešťany           | 36,8                              | 10,6  | 2,5   | 285,1   | 6,7   | 336,7 | 67,5  | 97,0  |
| Dolný Hričov       | 74,3                              | 40,8  | 19,9  | 1116,0  | 13,0  | 327,6 | 83,3  | 122,0 |
| Podhájska          | 34,6                              | 9,4   | 1,9   | 252,3   | 6,2   | 341,3 | 59,9  | 84,8  |
| Hurbanovo          | 33,9                              | 10,9  | 1,9   | 264,9   | 6,5   | 338,4 | 56,4  | 84,2  |
| Čadca              | 82,9                              | 51,2  | 28,2  | 1519,4  | 16,7  | 320,5 | 89,8  | 135,5 |
| Prievidza          | 50,5                              | 21,0  | 8,0   | 530,7   | 9,0   | 331,4 | 74,0  | 108,8 |
| Oravská Lesná      | 124,2                             | 104,6 | 79,3  | 4747,9  | 36,5  | 309,8 | 108,9 | 165,4 |
| Liptovský Hrádok   | 84,3                              | 40,8  | 17,2  | 1034,3  | 11,4  | 317,9 | 96,6  | 144,9 |
| Sliač              | 60,3                              | 32,1  | 15,5  | 774,2   | 10,8  | 334,2 | 72,8  | 104,8 |
| Chopok             | 171,3                             | 158,8 | 148,9 | 15928,0 | 92,6  | N     | N     | N     |
| Boľkovce           | 48,0                              | 16,9  | 4,0   | 421,4   | 7,5   | 339,0 | 68,5  | 95,8  |
| Lomnický štít      | 179,0                             | 175,6 | 170,8 | 24299,0 | 135,6 | N     | N     | N     |
| Skalná Pleso       | 157,7                             | 134,1 | 102,3 | 5291,4  | 33,0  | 268,9 | 146,0 | 241,6 |
| Štrbské Pleso      | 156,0                             | 140,0 | 124,5 | 8176,7  | 51,5  | 291,1 | 125,1 | 200,3 |
| Poprad             | 79,7                              | 30,0  | 11,1  | 778,6   | 9,1   | 317,9 | 96,0  | 144,4 |
| Telgárt            | 104,3                             | 64,9  | 39,4  | 2231,3  | 19,7  | 308,8 | 101,1 | 158,5 |
| Rožňava            | 56,1                              | 21,2  | 4,5   | 482,7   | 7,3   | 330,4 | 73,6  | 109,5 |
| Švedlár            | 74,3                              | 35,5  | 13,5  | 844,3   | 10,2  | 323,2 | 90,8  | 133,8 |
| Plaveč n. Popradom | 90,6                              | 57,4  | 29,0  | 1439,1  | 14,9  | 318,9 | 94,1  | 141,4 |
| Košice, letisko    | 47,6                              | 16,8  | 6,2   | 433,9   | 8,1   | 331,3 | 63,6  | 98,5  |
| Tisinec            | 72,5                              | 31,1  | 9,0   | 754,8   | 9,4   | 322,6 | 81,5  | 125,1 |
| Medzilaborce       | 85,0                              | 53,1  | 30,4  | 1422,2  | 15,2  | 318,8 | 88,5  | 136,0 |
| Milhostov          | 43,2                              | 10,1  | 3,2   | 309,5   | 5,7   | 331,9 | 67,1  | 101,5 |
| Somotor            | 44,0                              | 11,0  | 2,6   | 313,8   | 6,0   | 331,6 | 65,9  | 100,5 |
| Kamenica n. C.     | 58,4                              | 21,6  | 6,4   | 555,2   | 8,3   | 321,9 | 78,2  | 122,6 |

Tabuľka 2.

Desaťročné trendy vybraných charakteristík snehovej pokrývky v období 1981/82 – 2017/2018 (ssp = súvislá snehová pokrývka).

Table 2.

10-year trends of selected characteristics of snow cover in the period 1981/82 – 2017/2018 (ssp = continuous snow cover).

A = priemerný počet dní so ssp 1 cm a viac

B = priemerný počet dní so ssp 10 cm a viac

C = priemerný počet dní so ssp 20 cm a viac

D = priemerná suma snehovej pokrývky

E = priemerná výška snehovej pokrývky

F = prvý deň so snehovou pokrývkou

G = posledný deň so snehovou pokrývkou

H = obdobie snehovej pokrývky

N = charakteristika sa nehodnotila štatisticky významný trend

-5,0 štatisticky významný trend

| Názov stanice      | Charakteristiky snehovej pokrývky |      |      |        |      |      |      |       |
|--------------------|-----------------------------------|------|------|--------|------|------|------|-------|
|                    | A                                 | B    | C    | D      | E    | F    | G    | H     |
| Kuchyňa            | -5,0                              | -3,0 | -2,0 | -75,0  | -1,0 | 2,0  | -2,0 | -5,0  |
| BA, Koliba         | -5,0                              | -5,0 | -3,0 | -154,0 | -2,0 | -1,0 | -1,0 | 0,0   |
| BA, letisko        | -6,0                              | -5,0 | -2,0 | -130,0 | -2,0 | 0,0  | -3,0 | -4,0  |
| Kráľová pri Senci  | -1,0                              | -1,0 | 0,0  | -24,0  | -1,0 | -4,0 | -1,0 | 3,0   |
| Jaslovské Bohunice | -4,0                              | -3,0 | -1,0 | -60,0  | -1,0 | 0,0  | -4,0 | -6,0  |
| Žihárec            | -7,0                              | -4,0 | -2,0 | -98,0  | -2,0 | 0,0  | -8,0 | -11,0 |
| Piešťany           | -3,0                              | -2,0 | -1,0 | -51,0  | -1,0 | 0,0  | -4,0 | -4,0  |
| Dolný Hričov       | -10,0                             | -8,0 | -3,0 | -182,0 | -1,0 | 0,0  | -4,0 | -4,0  |
| Podhájska          | -3,0                              | -1,0 | 0,0  | -18,0  | 0,0  | 2,0  | -1,0 | -3,0  |
| Hurbanovo          | -4,0                              | -5,0 | -1,0 | -82,0  | -2,0 | -1,0 | -5,0 | -4,0  |
| Čadca              | -5,0                              | -9,0 | -4,0 | -172,0 | -2,0 | -2,0 | -1,0 | 1,0   |
| Prievidza          | -5,0                              | -1,0 | -1,0 | -44,0  | 0,0  | 3,0  | -5,0 | -8,0  |
| Oravská Lesná      | -7,0                              | -6,0 | -7,0 | -456,0 | -3,0 | 0,0  | -5,0 | -5,0  |
| Liptovský Hrádok   | -7,0                              | -8,0 | -3,0 | -164,0 | -2,0 | -3,0 | -8,0 | -4,0  |
| Sliac              | -3,0                              | -4,0 | -2,0 | -85,0  | -1,0 | 1,0  | -3,0 | -4,0  |
| Chopok             | -2,0                              | -1,0 | 0,0  | 1019,0 | 7,0  | N    | N    | N     |
| Boľkovce           | -1,0                              | -3,0 | -2,0 | -55,0  | -1,0 | -3,0 | -5,0 | -1,0  |
| Lomnický štít      | 0,0                               | 0,0  | 1,0  | 2135,0 | 12,0 | N    | N    | N     |
| Skalnaté Pleso     | 2,0                               | 4,0  | 7,0  | 704,0  | 4,0  | 2,0  | -2,0 | -4,0  |
| Štrbské Pleso      | -3,0                              | 0,0  | 0,0  | -526,0 | -3,0 | 2,0  | -2,0 | -4,0  |
| Poprad             | -4,0                              | 0,0  | 2,0  | 34,0   | 1,0  | -1,0 | -8,0 | -7,0  |
| Telgárt            | -5,0                              | -2,0 | 2,0  | 46,0   | 1,0  | 1,0  | -5,0 | -6,0  |
| Rožňava            | -1,0                              | -5,0 | -3,0 | -86,0  | -1,0 | -4,0 | -2,0 | 3,0   |
| Švedlár            | -7,0                              | -5,0 | -4,0 | -154,0 | -1,0 | -3,0 | -8,0 | -5,0  |
| Plaveč n. Popradom | -8,0                              | -6,0 | -2,0 | -90,0  | 0,0  | 1,0  | -8,0 | -9,0  |
| Košice, letisko    | -4,0                              | -3,0 | -1,0 | -68,0  | 0,0  | 1,0  | -1,0 | -2,0  |
| Tisinec            | -7,0                              | -3,0 | -1,0 | -108,0 | -1,0 | 3,0  | -7,0 | -10,0 |
| Medzilaborce       | -7,0                              | -9,0 | -5,0 | -171,0 | -1,0 | 4,0  | -5,0 | -9,0  |
| Milhostov          | -6,0                              | -2,0 | -1,0 | -60,0  | -1,0 | 4,0  | -4,0 | -8,0  |
| Somotor            | -4,0                              | -1,0 | 0,0  | -29,0  | 0,0  | 1,0  | 1,0  | 0,0   |
| Kamenica n. C.     | -6,0                              | -3,0 | 0,0  | -54,0  | 0,0  | 3,0  | -4,0 | -6,0  |

## VÝSLEDKY

Prvou hodnotenou charakteristikou bol počet dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac. V období 1981/82–2017/18 sme, s výnimkou dvoch staníc (Lomnický štít a Skalnaté Pleso), zaznamenali klesajúci trend v počte dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac. Ten po prepočítaní na 10-ročné obdobie predstavoval na väčšine staníc zhruba pokles o 2 až 7 dní za 10 rokov. Trend poklesu bol štatisticky významný na dvoch staniách, a to v Žihárce (pokles o 7 dní za 10 rokov) a v Dolnom Hričove (pokles o 10 dní za 10 rokov). Len na jednej stanici sme zaznamenali rastúci trend v počte dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac, a to na stanici Skalnaté Pleso (vzostup o 2 dni za 10 rokov). Nulový trend sme vyhodnotili z údajov z Lomnického štítu (Obr. 2).

Druhou hodnotenou charakteristikou bol počet dní so snehovou pokrývkou 10 cm a viac. Aj pri tejto charakteristike snehovej pokrývky sme na väčšine staníc opäť zaznamenali pokles v počte dní. Na stanici Štrbské Pleso, Poprad a Lomnický štít bol zaznamenaný nulový a na Skalnatom pleso opäť stúpajúci trend vývoja. Štatisticky významný trend sa vyskytol na troch staniách, pričom vo všetkých troch prípadoch išlo o významný pokles v počte dní so snehovou pokrývkou 10 cm a viac. Išlo o stanice Bratislava-letisko, Žihárec a Hurbanovo. Na týchto staniách sme po prepočítaní na 10-ročné obdobie vyhodnotili pokles o zhruba 5 dní za 10 rokov. Ešte výraznejší pokles sme zaznamenali napríklad v Liptovskom Hrádku, Dolnom Hričove (pokles o 8 dní za 10 rokov) a v Čadci (pokles o 9 dní za 10 rokov), aj napriek tomu tento trend len tesne nevyšiel ako štatisticky významný (avšak tieto trendy môžeme považovať za významné s 90 percentnou pravdepodobnosťou podľa Studentovho rozdelenia kritických hodnôt ( $\alpha=0,10$ )).

Štatisticky nevýznamný rast v počte dní so snehovou pokrývkou 10 cm a viac na stanici Skalnaté Pleso predstavuje vzostup o 4 dni za desať rokov (Obr. 3).

Pri charakteristike počet dní so snehovou pokrývkou 20 cm a viac boli v porovnaní s predošlými dvoma charakteristikami výsledky menej jednoznačné. Na väčšine staníc sme síce opäť zaznamenali pokles v počte dní, avšak až na 6 staniách bol trend nulový a na štyroch staniách (Telgárt, Poprad, Skalnaté Pleso a Lomnický štít) dokonca rastúci trend. Najvýraznejší, avšak nie štatisticky významný, rast sme opäť zaznamenali na stanici Skalnaté Pleso (vzostup 7 dní za 10 rokov), naopak najvýraznejší pokles v počte dní sa vyskytol v Oravskej Lesnej (pokles o 7 dní za 10 rokov). Štatisticky významný trend bol len na stanici Žihárec, kde po prepočítaní na 10-ročné obdobie išlo o pokles o 2 dni za 10 rokov (Obr. 4).

Pri sume snehovej pokrývky sme až na piatich staniách zaznamenali rastúci trend vývoja. Išlo o stanice Chopok, Telgárt, Poprad, Skalnaté Pleso a Lomnický štít. Tieto stanice môžeme, s výnimkou Popradu, považovať za horské stanice. Stanica v Poprade má síce vyššiu nadmorskú výšku ako väčšina hodnotených staníc, ale má kotlinovú polohu (Popradská kotlina). Najvýraznejší vzostup bol na Lomnickom štíte (vzostup o 2 135 cm za 10 rokov), druhý najvýraznejší na Chopku (vzostup o 1 019 cm za 10 rokov). Štatisticky významný trend sme zaznamenali len na troch staniách (Bratislava-letisko, Žihárec a Hurbanovo), pričom vo všetkých troch prípadoch išlo o významný pokles v sume snehovej pokrývky (Obr. 5).

Pri priemernej výške snehovej pokrývky boli výsledky podobné. K staniám so štatisticky významným poklesom priemernej výšky snehovej pokrývky sa okrem stanice Bratislava-letisko, Žihárec a Hurbanovo pridala aj stanica

Bratislava-Koliba. Na väčšine staníc sme zaznamenali pokles o 1 až 3 cm za 10 rokov. Na staniách Chopok, Lomnický štít, Skalnaté Pleso, ale aj Telgárt a Poprad, bol zaznamenaný rastúci trend priemernej výšky snehovej pokrývky, najvýraznejšie na Lomnickom štíte (o 12 cm za 10 rokov) (Obr. 6, Tab. 2).

Z hľadiska interpretácie výsledkov najzložitejšie bolo hodnotenie vývoja *prvého dňa so snehovou pokrývkou*. Keďže sme hodnotili deň v roku kedy sa na danej stanici prvýkrát vyskytla súvislá snehová pokrývka, tak stúpajúci trend znamená posun k neskoršiemu dátumu. Pripomíname ešte, že na staniách Lomnický štít a Chopok sme túto charakteristiku, rovnako ako posledný deň so snehovou pokrývkou a obdobie snehovej pokrývky, nehodnotili. Z hodnotených staníc sme stúpajúci trend, a teda posun k neskorším dátumom výskytu prvého dňa so snehovou pokrývkou, vyhodnotili na 14-tich staniách. Najvýraznejší trend, 4 dni za 10 rokov, sme vyhodnotili pre stanice Milhostov a Medzilaborce. Posun k skoršiemu dátumu sme vyhodnotili na deviatich staniách (1 až 4 dni za 10 rokov), na 6-tich staniách bol trend vývoja nulový (Obr. 7, Tab. 2). Ani na jednej stanici nebol na hladine významnosti  $\alpha 0,05$  trend tejto charakteristiky snehovej pokrývky vyhodnotený ako štatisticky významný.

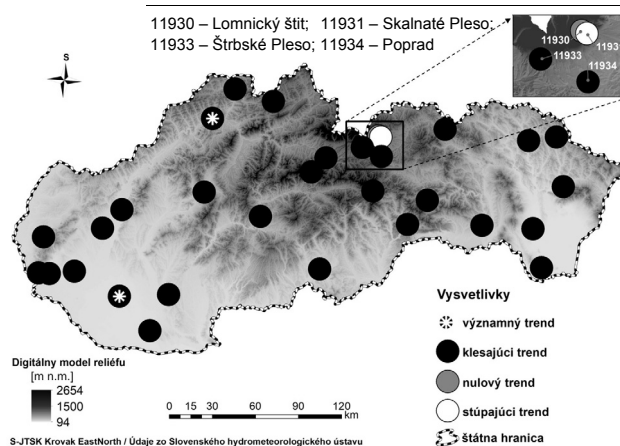
Pri *poslednom dni so snehovou pokrývkou* sme na všetkých staniách s výnimkou jednej (Somotor), zaznamenali klesajúci trend, ktorý znamená posun posledného dňa so súvislou snehovou pokrývkou na skorší dátum. Až na ôsmich staniách bol trend štatisticky významný, pričom ide o stanice s polohou zväčša v severnej polovici stredného a východného Slovenska (Obr. 8). Na staniách v Žihárce, v Liptovskom Hrádku, v Poprade, vo Švedlári a v Plavči nad Popradom ide pritom o posun v priemere o 8 dní za 10 rokov.

Poslednou hodnotenou charakteristikou snehovej pokrývky bolo *obdobie snehovej pokrývky* (počet dní medzi prvým a posledným dňom so snehovou pokrývkou vrátane). Tu sme zaznamenali opäť väčšinou klesajúci trend, teda skracovanie obdobia snehovej pokrývky. Štatisticky významný trend bol na piatich staniách, najvýraznejšie skrátenie obdobia snehovej pokrývky sme vyhodnotili na stanici Žihárec (pokles v dĺžke trvania o 11 dní za 10 rokov). Stúpajúci trend (predlžovanie obdobia snehovej pokrývky) bol zaznamenaný len na staniách Kráľová pri Senci, Rožňava a Čadca (1 až 3 dni za 10 rokov) (Obr. 9).

Sumárnu štatistiku vybraných charakteristík snehovej pokrývky ponúka tabuľka 1 a 2. Kým v tabuľke 1 sú uvedené priemerné hodnoty hodnotených charakteristík za celé sledované obdobie, tabuľka 2 prináša pohľad na vývoj charakteristík prostredníctvom 10-ročných trendov (viac v metodike práce). Najviac významných trendov sa vyskytlo na stanici Žihárec, pričom vo všetkých prípadoch išlo o poklesy. Tri významné trendy boli vyhodnotené aj pre stanice Hurbanovo a Bratislava, letisko (tiež poklesy). Ak sa pozrieme na jednotlivé charakteristiky snehovej pokrývky, tak najviac významných trendov sme zaznamenali pri poslednom dni so snehovou pokrývkou (8 významných trendov – všetko poklesy, to znamená posun posledného dňa so snehovou pokrývkou na skorší dátum). Naopak, žiadny významný trend sme nezaznamenali len v prípade prvého dňa so snehovou pokrývkou.

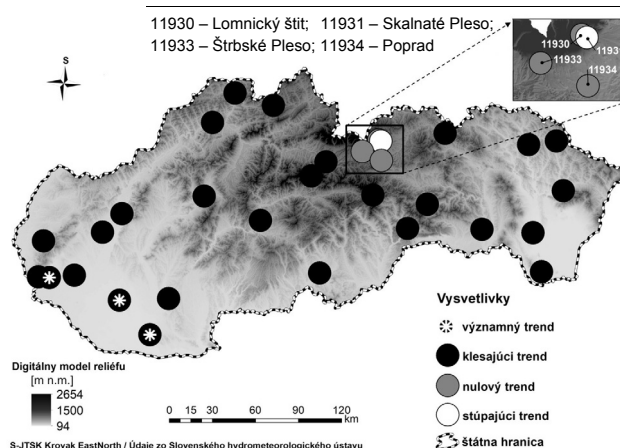
**Obrázok 2.** Vývoj v počte dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac v období 1981/82 – 2017/18.

Figure 2. Development of number of days with snow cover 1 cm and more in the period 1981/82 – 2017/18.



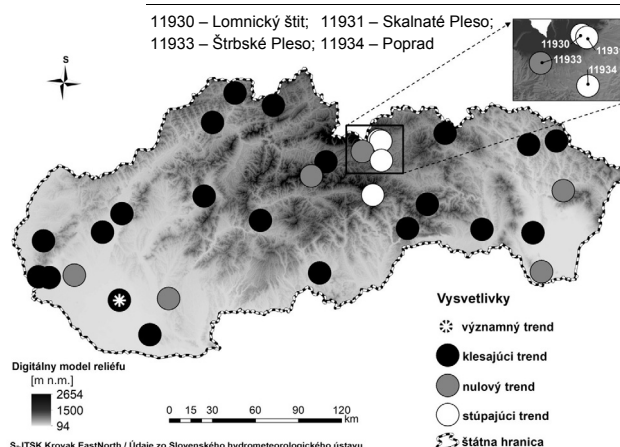
**Obrázok 3.** Vývoj v počte dní so snehovou pokrývkou 10 cm a viac v období 1981/82 – 2017/18.

Figure 3. Development of number of days with snow cover 10 cm and more in the period 1981/82 – 2017/18.



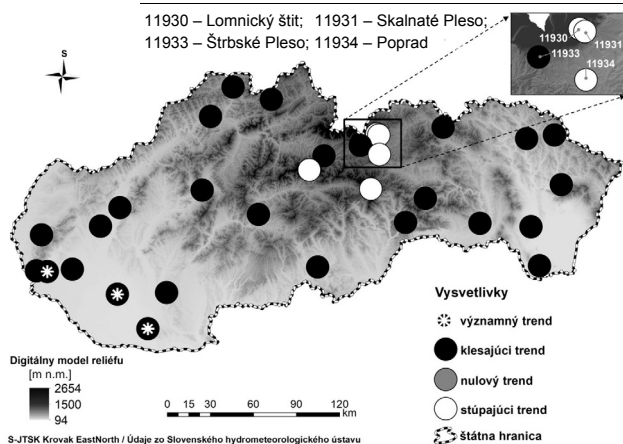
**Obrázok 4.** Vývoj v počte dní so snehovou pokrývkou 20 cm a viac v období 1981/82 – 2017/18.

Figure 4. Development of number of days with snow cover 20 cm and more in the period 1981/82 – 2017/18.



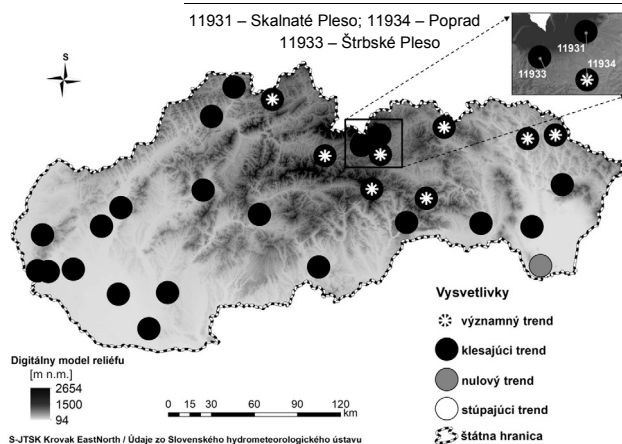
**Obrázok 5. Vývoj sumy snehovej pokrývky v období 1981/82 – 2017/18.**

Figure 5. Development of sum of snow cover in the period 1981/82 – 2017/18.



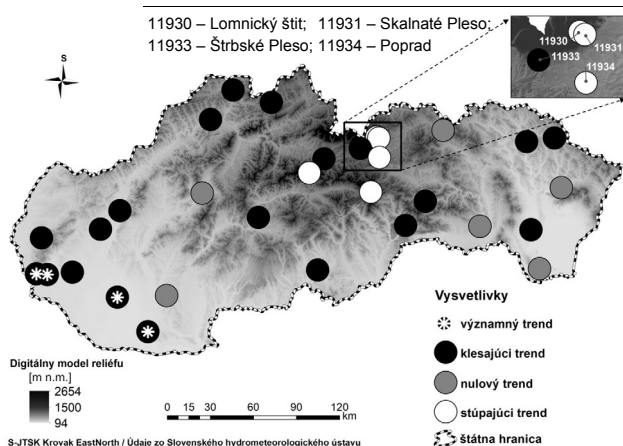
**Obrázok 8. Vývoj v poslednom dni so snehovou pokrývkou v období 1981/82 – 2017/18.**

Figure 8. Development on the last day with snow cover in the period 1981/82 – 2017/18.



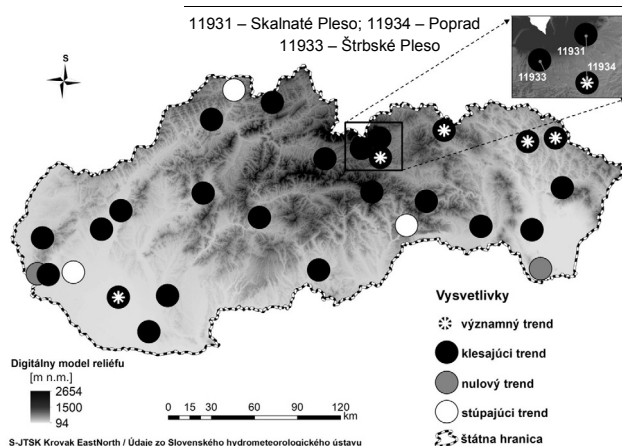
**Obrázok 6. Vývoj priemernej výšky snehovej pokrývky v období 1981/82 – 2017/18.**

Figure 6. Development of mean height of snow cover in the period 1981/82 – 2017/18.



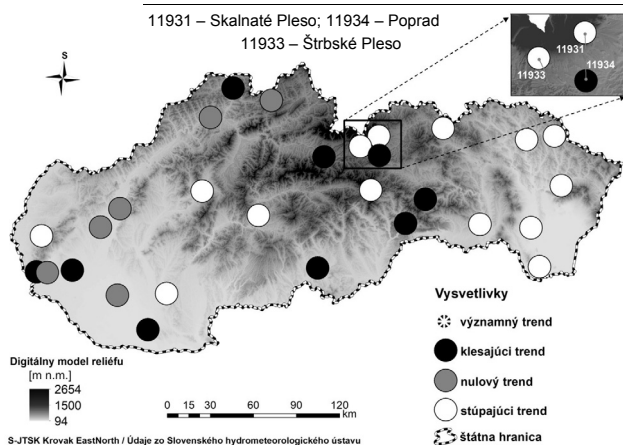
**Obrázok 9. Vývoj v dĺžke trvania obdobia snehovej pokrývky v období 1981/82 – 2017/18.**

Figure 9. Development of duration of snow cover season in the period 1981/82 – 2017/18.



**Obrázok 7. Vývoj v prvom dni so snehovou pokrývkou v období 1981/82 – 2017/18.**

Figure 7. Development on the first day with snow cover in the period 1981/82 – 2017/18.



Na obrázku 10 je zobrazená závislosť 10-ročných trendov od nadmorskej výšky (viac o interpretácii tohto grafu v metodike práce). Z grafov je možné vidieť predovšetkým rozdiely v 10-ročných trendoch medzi nižšie a vyššie položenými stanicami. V prípade počtu dní so snehovou pokrývkou ( $\geq 1$ , 10 a 20 cm) boli na vyššie položených stanicách nulové alebo pozitívne trendy v počte dní so snehovou pokrývkou (najmä v prípade počtu dní so snehovou pokrývkou  $\geq 10$  a 20 cm). Na nižšie položených stanicách boli trendy skôr klesajúce. V prípade sumy snehovej pokrývky a priemernej výšky so snehovou pokrývkou sú rozdiely medzi stanicami v nižších a stredných polohách, v porovnaní so stanicami vo vysokých horských polohách, ešte výraznejšie. Na vysokohorských stanicách rastie suma aj priemerná výška snehovej pokrývky. Naopak na stanicách v nižších a stredných polohách sa suma aj priemerná výška snehovej pokrývky znižuje. Na interpretáciu problematickejšie sú výsledky závislosti medzi

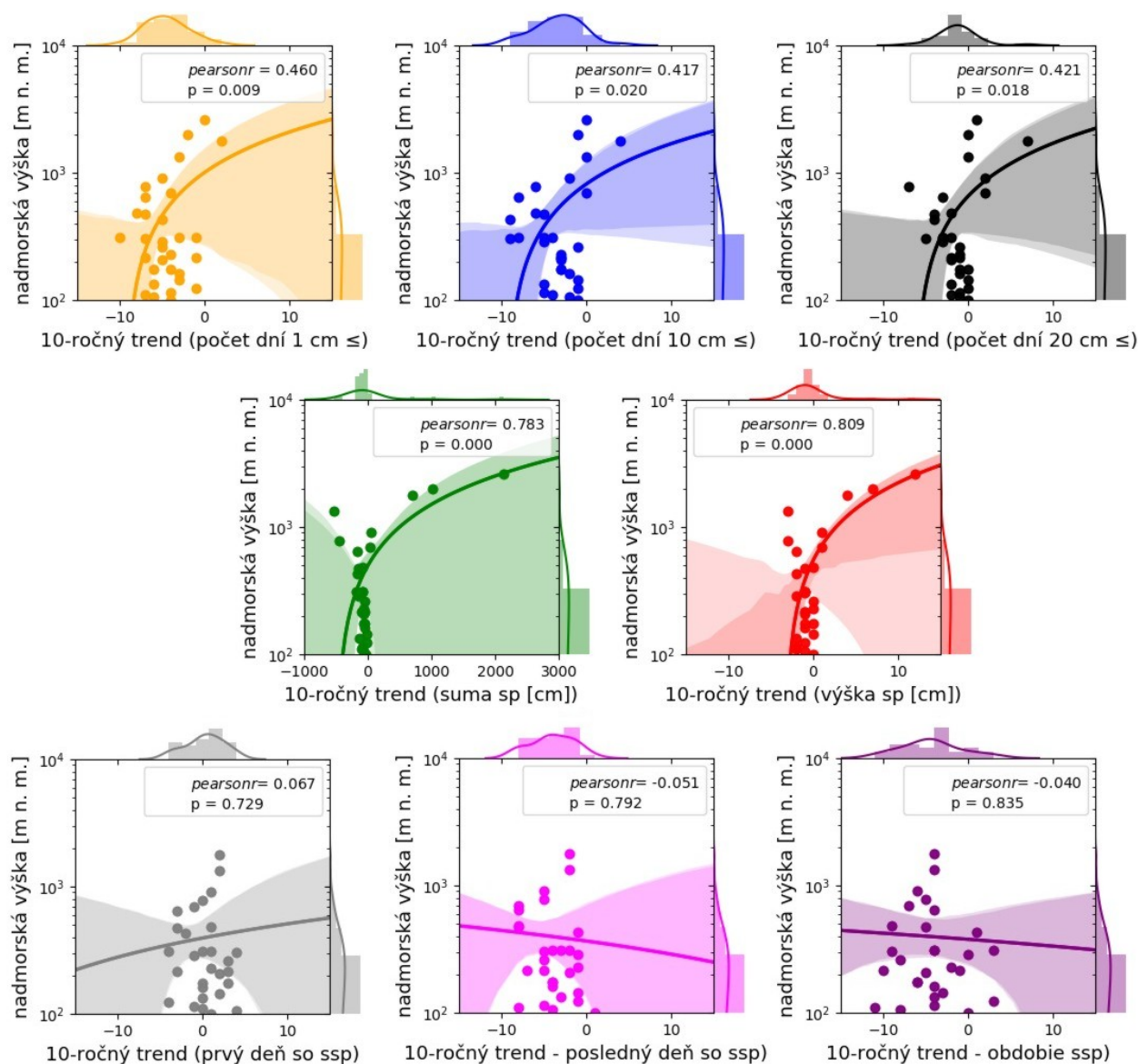
nadmorskou výškou a prvým, respektíve posledným dňom so snehovou pokrývkou a dĺžkou trvania obdobia snehovej pokrývky (stanice Chopok a Lomnický štít neboli do tejto analýzy zahrnuté). Ako už bolo spomínané vyššie, pri prvom dni so snehovou pokrývkou nebol zaznamenaný žiadny významný trend. Aj z grafu na obrázku 10 sa hodnoty trendov sústreďujú väčšinou okolo nuly a s rastúcou nadmorskou výškou nie je možné identifikovať výraznejšie rozdiely. Lineárny trend však naznačuje, že najmä vo vyšších nadmorských výškach sa prvý deň so snehovou pokrývkou posúva na neskoršie dátumy. V prípade posledného dňa so snehovou pokrývkou sa na väčšine staníc potvrdil posun na skorší dátum, teda záporný (klesajúci)

trend (porovnaj Obr. 8 a Obr. 10). Spolu s obdobím snehovej pokrývky išlo o jediné charakteristiky s negatívnou koreláciou, avšak závislosť bola v oboch prípadoch veľmi slabá (Pearsonov korelačný koeficient pri poslednom dni so snehovou pokrývkou mal hodnotu  $-0,051$  a pri dĺžke obdobia snehovej pokrývky  $0,040$ ).

Na základe vyššie uvedeného je možné skonštatovať, že kým pri počte dní so snehovou pokrývkou, sume snehovej pokrývky a priemernej výške snehovej pokrývky je možné identifikovať závislosť trendov od meniacej sa nadmorskej výšky, tak v prípade dĺžky obdobia snehovej pokrývky a prvého, či posledného dňa so snehovou pokrývkou závislosť preukázaná nebola.

**Obrázok 10.** Závislosť 10-ročných trendov charakteristík snehovej pokrývky od nadmorskej výšky staníc (v logaritmickej škále) v období 1981/82–2017/18 (ssp = súvislá snehová pokrývka, sp = snehová pokrývka). Hrubá čiara predstavuje lineárnu trendovú spojnicu (v logaritmickej škále) a bočné histogramy početnosť hodnôt pre obe premenné.

Figure 10. Dependence of 10-year trends of characteristics of snow cover on altitude of the stations (in a logarithmic scale) in the period 1981/82–2017/18 (ssp = continuous snow cover, sp = snow cover). Thick line is the linear trend line (in a logarithmic scale) and histograms on sides represent number of values for both variables.





## DISKUSIA

Podľa Šamaj a Valovič (1988) je výskyt snehovej pokrývky pravidelný len v oblastiach s trvalou zápornou teplotou vzduchu v zime. V nížinách v celej strednej Európe je preto v dôsledku častého striedania sa období s kladnou a zápornou priemernou teplotou vzduchu jej výskyt nepravidelný.

Kvôli častým teplotným zmenám je snehová pokrývka aj na Slovensku málo trvanlivá a často prerušovaná (Šamaj a Valovič, 1988). Podľa Šamaj a kol. (1991) patria nížiny Slovenska do oblasti s takmer každoročným výskytom snehovej pokrývky, ktorá sa ďalej vyznačuje nestálosťou z hľadiska dĺžky trvania a času jej výskytu. Stredné a vyššie polohy patria do oblasti so stálou, každoročne vznikajúcou, snehovou pokrývkou s rôznou dĺžkou trvania. Na Slovensku sa snehová pokrývka vyskytuje každú zimu, a to aj v najteplejších nížinných oblastiach. Napríklad, aj v teplej zime 1924/1925 ležala v Hurbanove snehová pokrývka predsa 5 dní (Konček a Briedoň 1964).

Výška snehovej pokrývky, jej variabilita ako aj trendy jednotlivých charakteristík snehovej pokrývky závisia od kombinácie vplyvov ďalších meteorologických charakteristík skúmaného územia: cirkulácie atmosféry, teploty vzduchu, zrážok, vetra, solárneho žiarenia, dĺžky trvania slnečného svitu atď. (Falarz, 2004; Lapin a kol. 2007b). V oblastiach, kde v priebehu zimy teplota vzduchu často vystupuje nad bod mrazu, je výskyt snehovej pokrývky menej stály a prerušovaný. Chod teploty vzduchu, a teda aj snehové pomery, na území Slovenska ovplyvňujú najmä cirkulačné faktory (cyklonalita, anticyklonalita, meridiionalita, zonalita a pod.), ale tiež faktory geografické (poloha, nadmorská výška). Na území Slovenska chýba v zimnom období snehová pokrývka najčastejšie na juhozápade Slovenska, kde je v priemere najnižší počet dní so súvislou snehovou pokrývkou. Z údajov, ktoré sme vyhodnotili v tomto príspevku vyplýva, že najnižší priemerný počet dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac sa vyskytuje v Kráľovej pri Senci, len 32 dní zimného obdobia (Tab. 1). Konček a Briedoň (1964) vo svojej práci uvádzajú, že snehová pokrývka sa u nás vytvára aj počas teplých zim, pričom za príklad dávajú zimu 1924/25. V posledných desaťročiach sa však už vyskytli aj zimy keď sa v určitých lokalitách nevytvorila súvislá snehová pokrývka aspoň 1 cm (poprašok a nesúvislá snehová pokrývka nepočítame) ani počas jedného dňa zimného obdobia (napríklad v zime 1997/98 v Kráľovej pri Senci). Prípadne sa vyskytli zimy veľmi chudobné na sneh. Dobrým príkladom je zima 2013/2014, kedy sa na stanici v Žihárči, Piešťanoch a v Podhájskej vyskytol len jeden deň zimného obdobia so súvislou snehovou pokrývkou 1 cm a viac (na stanici v Hurbanove to boli napríklad 2 dni).

Analýzou počtu dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac a 20 cm a viac, ako aj sumy denných výšok snehovej pokrývky v období 1951/52–2005/06 sa zaoberali Faško a kol. (2009). Z porovnania s výsledkami našej práce (obdobie 1981/82–2017/18) je možné vidieť pokles priemerných hodnôt všetkých troch uvedených charakteristík snehovej pokrývky oproti nimi hodnotenému obdobiu, a to na všetkých štyroch porovnávaných staniciach (Liptovský

Hrádok, Štrbské Pleso, Poprad a Telgárt). Najvýraznejší pokles hodnôt v jednotlivých charakteristikách snehovej pokrývky bol na stanici Telgárt. Na tejto stanici mala napríklad priemerná suma snehovej pokrývky v období 1951/52–2005/06 hodnotu až 2 997,4 cm, v období 1981/82–2017/18 bola jej hodnota len 2 231,3 cm. Počet dní so snehovou pokrývkou 1 cm a viac sa znížil zo 108,6 na 104,3 a počet dní so snehovou pokrývkou 20 cm a viac sa znížil z 55,4 na 39,4 dní.

V nižších polohách môžeme vo všeobecnosti pozorovať pokles počtu dní so snehovou pokrývkou ako aj pokles výšky snehovej pokrývky, kým vo vysokohorských polohách ide zväčša o stúpajúce trendy (Obr. 10). Na rovnaké rozloženie trendov poukazujú aj Faško a kol. (2009) pre denné úhrny novej snehovej pokrývky a kumulatívne hodnoty výšky snehu v oblasti severných Karpát. Podobne aj Lapin a kol. (2007a) poukazujú na pokles trvania snehovej pokrývky ako aj pokles tuhých zrážok v nižších polohách Tatier od zimy 1921/1922. Podľa Vojtek a kol. (2003) sa hranica, kde sa hodnoty trendov menia zo záporných na kladné, prípadne nulové nachádza približne vo výške 1 800 m n. m. na severných svahoch a vo výške 2 300 m n. m. na svahoch s južnou expozíciou. Podobné rozloženie trendov bolo zaznamenané aj v Alpách (kladné alebo nulové trendy v polohách vyšších ako 2000 m n. m. a záporné trendy v nižšie položených oblastiach) (Voigt a kol., 2010).

Nižšie úhrny snehovej pokrývky v nižších polohách sú zapríčinené hlavne zmenou tuhých zrážok na tekuté, v súvislosti so zvyšovaním teploty. Na druhej strane vyššie úhrny snehovej pokrývky vo vyšších polohách sú späté so zvýšenými zimnými a hlavne jarnými úhrnmi zrážok v tuhom skupenstve (Faško a kol., 2009; Voigt a kol., 2010).

## ZÁVER

V článku boli vyhodnotené trendy vývoja vybraných charakteristík snehovej pokrývky na území Slovenska v období 1981/82–2010/11, a to na základe údajov o dennej výške snehovej pokrývky z 31 staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (Obr. 1).

Pri počte dní so snehovou pokrývkou 1 cm, 10 cm a 20 cm a viac sme na viacerých staniciach zaznamenali klesajúci trend v počte týchto dní (Obr. 2). Zaujímavý je však naopak nulový alebo stúpajúci trend, ktorý sa nápadne vyskytol prevažne na staniciach s vyššou nadmorskou výškou (Skalnaté Pleso, Lomnický štít, Štrbské Pleso, Poprad a Telgárt). Pri vývoji sumy snehovej pokrývky je rozdiel v trendoch medzi nižšími a vyššími polohami ešte nápadnejší. Na väčšine staníc bol zaznamenaný klesajúci trend vývoja sumy snehovej pokrývky, avšak na Chopku, Skalnatom Plese, v Telgárte, v Poprade a na Lomnickom štíte sa vyskytol stúpajúci trend (Obr. 5). Pri priemernej výške snehovej pokrývky sa na štyroch staniciach na juhozápade Slovenska vyskytol štatisticky významný klesajúci trend vývoja priemernej výšky snehovej pokrývky, ale na Chopku, Skalnatom Plese a Lomnickom štíte, v Poprade a v Telgárte bol zaznamenaný opačný – stúpajúci trend (Obr. 6). Pri prvom dni so snehovou pokrývkou znamená

stúpajúci trend posun prvého dňa so snehovou pokrývkou na neskorší dátum v roku. Štatisticky významný trend sa nevyskytol ani na jednej z hodnotených staníc (Lomnický štít ani Chopok sme tu nehodnotili), avšak až na 14-tich staniciach sme zaznamenali posun na neskorší dátum, najvyšší trend bol v Medzilaborciach a v Milhostove (4 dni za 10 rokov) (Obr. 7, Tab. 2). Ešte jednoznačnejšie boli výsledky pri poslednom dni so snehovou pokrývkou, kde sme takmer na všetkých staniciach s výnimkou jednej (Somotor) zaznamenali klesajúci trend, a teda posun posledného dňa so snehovou pokrývkou na skorší dátum v roku. Štatisticky významný trend bol zaznamenaný až na ôsmich staniciach lokalizovaných v severnej polovici stredného a východného Slovenska. Podobne sa dá pozerat' aj na obdobie snehovej pokrývky, kde sme na väčšine staníc tiež zaznamenali klesajúci trend, ktorý znamená skracovanie obdobia medzi prvým a posledným dňom so snehovou pokrývkou (vrátane). Štatisticky významný klesajúci trend bol na piatich staniciach, prevažne v severnej polovici východného Slovenska.

Z analýzy vyplýva, že najmä v nižších polohách dochádza k poklesu dní so snehovou pokrývkou 1, 10 a 20 cm a viac, k poklesu sumy a priemernej výšky snehovej pokrývky a k skracovaniu obdobia snehovej pokrývky. Výrazný, a na viacerých staniciach aj štatisticky významný, je tiež posun posledného dňa so snehovou pokrývkou na skorší dátum. Na vyššie položených staniciach v oblasti Tatier pozorujeme naopak rast počtu dní so snehovou pokrývkou 20 cm a viac, tomu zodpovedá aj rast sumy snehovej pokrývky a priemernej výšky snehovej pokrývky.

## LITERATÚRA

- Brown, R.D., 2000, Northern Hemisphere Snow Cover Variability and Change, 1915–97. *J. Climate*, 13, 2339–2355, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2339:NHSCVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2339:NHSCVA>2.0.CO;2)
- Falarz, M., 2004, Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20<sup>th</sup> century. *International Journal of Climatology* [online]. 2004, roč. 24, č. 13, s. 1713–1727. ISSN 08998418. [cit. 14. apríl 2019]. Dostupné na: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.1093>>
- Faško, P.–Pecho, J.–Mikulová, K.–Nejedlík, P., 2009, Trends of Selected Characteristics of Precipitation in the Northern Carpathians in the Light of Water Supply for Agriculture [online]. In: *Impact of climate change and adaptation in agriculture. Extended abstracts of the international symposium, Vienna. 2009.* 22–23. [cit. 14. apríl 2019]. Dostupné na: <[http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/pub\\_cinnost/Faško\\_et\\_al\\_2009d.pdf](http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/pub_cinnost/Faško_et_al_2009d.pdf)>
- Holko, L.–Kostka, Z., 2007, Snow cover in northern Slovakia – present, past and future, *Folia Geographica, series Geographica Physica*, ISSN 0071-6715, XXXVII-XXXVIII, 37–51, 2007.
- Chromov, S.P. 1968. *Meteorológia a klimatológia*. Bratislava: Vydavateľstvo SAV, 1968. 456 s.
- IPCC: Climate Change. 2007: *The Physical Science Basis*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp., 2007.
- IPCC. 2018: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Konček, M., 1957, *Klimatické zmeny v histórii Zeme*. Martin, Osveta, 31 s.
- Konček, M.–Briedoň, V., 1964, *Sneh a snehová pokrývka na Slovensku*. Bratislava Vydavateľstvo SAV. 1964, 76 s.
- Křístek, Š.–Urbancová, N.–Holuša, J.–Tomeček, P., 2011, Měření vlastností sněhové pokrývky v lese a mimo les. In: *lesnícky průvodce 2/2011* [online]. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 2011. 75 s. ISBN 978-80-7417-044-7. [cit. 2018-08-24]. Dostupné na: <<https://lnk.sk/gS57>>
- Lapin, M.–Melo, M.–Faško, P.–Pecho, J., 2007a, Snow cover changes scenarios for the Tatra Mountains in Slovakia [online]. In: *Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Conference on Alpin Meteorology in Chambéry, France. 2007.* p. 6. [cit. 14. apríl 2019]. Dostupné na: <[http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/pub\\_cinnost/Lapin\\_et\\_al\\_2007\\_ICAM.pdf](http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/pub_cinnost/Lapin_et_al_2007_ICAM.pdf)>
- Lapin, M.–Faško, P.–Pecho, J., 2007b, Snow cover variability and trends in the Tatra Mountains in 1921–2006 [online]. In: *Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Conference on Alpin Meteorology in Chambéry, France. 2007.* p. 2007. [cit. 14. 4. 2019]. Dostupné na: <[http://www.umr-cnrm.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript\\_174.pdf](http://www.umr-cnrm.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript_174.pdf)>
- Lemke, P.–Ren, J.–Alley, R.B.–Allison, I.–Carrasco, J.–Flato, G.–Fujii, Y.–Kaser, G.–Mote, P.–Thomas, R.H.–Zhang, T., 2007, Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Pribullová, A.–Pecho, J.–Bičárová, S., 2009, Analysis of snow cover at selected meteorological stations in the High Tatra Mountains. In: Pribullová A. and Bičárová S. (ed) *Sustainable Development and Bioclimate. Reviewed Conference Proceedings*. Stará Lesná: 56–57
- Petrovič, Š., 1952, Štatistické zhodnotenie storočných teplotných pozorovaní v Oravskom Podzámku. *Meteorologické správy*, 5, 3, 57–59.
- Šamaj, F., Valovič, Š. 1988. *Snehové pomery na Slovensku*. Zborník prác SHMÚ, zv. 14/ III., Bratislava: Alfa, 1988. 128 s.
- Šamaj, F.–Brázdil, R.–Dobrovolný, P.–Faško, P.–Košťálová, J. –Valovič, Š., 1991, Variabilita charakteristik sněhových poměrů v Karpatské části ČSFR v období 1920/21–1984/85. *Zborník prác SHMÚ*, zv. 34. SHMÚ Bratislava, 1991. 175 s. ISBN 80-900558-1-8
- Tretia národná správa o zmene klímy. MŽP SR. 2001. [online] Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, 2001. 24 s. [cit.2018-08-24]. Dostupné na: <<https://lnk.sk/axMQ>>
- Voigt, T.–Füssel, M.H.–Gärtner-Roer, I.–Huggel, CH.–Marty, CH.–Zemp, M., 2010, [online] *Impacts of climate change*

- on snow, ice, and permafrost in Europe: Observed trends, future projections, and socio-economic relevance.* 117 s. [cit. 14. apríl 2019]. European Topic Centre on Air and Climate Change. Dostupné na:  
<<http://air-climate.eionet.europa.eu/>>
- Vojtek, M.–Faško P.–Šťastný P., 2003, *Some selected snow climate trends in Slovakia with respect to altitude* [online]. *Acta Met. Univ. Comenianae.* 2003, roč. 32, 17–27. Dostupné na:  
<[http://vojtex.snailnet.sk/PhD/vojtek\\_acta2003.pdf](http://vojtex.snailnet.sk/PhD/vojtek_acta2003.pdf)>
- Zappa, M.–Holko, L.–Šanda, M.–Vitvar, T.–Parajka, J., 2019, *Thematic Issue on Snow Resources and Hydrological Cycle*, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(1), 1–3. doi: <https://doi.org/10.2478/johh-2018-0027>.

# VÝSKYT VEĽKÝCH KRÚP NA SLOVENSKU V ROKOCH 2007 – 2019

MIROSLAV ŠINGER<sup>1,2</sup>, ŠTEFAN DLHOŠ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

<sup>2</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Bratislava

*We analyse the occurrence of large hail (with diameter of at least 2 cm) in Slovakia and its surroundings from 2007 to 2019 using the reports from the European Severe Weather Database and radar data of the Slovak Hydrometeorological Institute. The number of reports and the length of time series allow only for limited statistical evaluations. On average, 18 large hail producing cells occurred in Slovakia each year, typically in summer and late spring. In most of the cases (70%) they produced hail with a maximum diameter of 2–3 cm and only 6% of the cells were capable of producing hail at least 6 cm in diameter. Eastern Slovakia experiences large hail 2.5 times more frequently than the western part and 10 times more if only hail at least 5 cm in diameter is considered. All reports of hail with a diameter of 5 cm or more were related to supercells.*

*V práci analyzujeme výskyt krúp s priemerom 2 a viac cm na území Slovenska a v blízkom okolí v rokoch 2007 až 2019 na základe záznamov v European Severe Weather Database a radarových dát Slovenského hydrometeorologického ústavu. Množstvo záznamov a zvolený časový rad umožňuje len obmedzené štatistické vyhodnotenia. Zistili sme, že ročne sa na Slovensku vyskytlo v priemere 18 buniek s veľkými krúpami, najčastejšie v lete a na konci jari. Vo väčšine prípadov (70%) vyprodukovali krúpy s maximálnym priemerom 2–3 cm a len v 6% sa jednalo o krúpy s priemerom 6 cm a viac. Na východnom Slovensku sme identifikovali 2,5-krát vyššiu početnosť výskytu veľkých krúp ako na západe, pričom početnosť krúp 5 cm a viac bola až 10-krát vyššia. Všetky krúpy s priemerom 5 cm a viac boli vyprodukované supercelami.*

**Key words:** hail, climatology, ESWD, cell

## ÚVOD

Búrky sú často sprevádzané nebezpečnými javmi ako napr. prívalový dážď, krúpy, silný vietor či tornáda. Všetky spomínané javy sa vyskytujú aj na Slovensku, vrátane tornád, napr. Šinger (2018). Často spôsobujú veľké škody na majetku a ohrozujú občanov (Dotzek a kol., 2009), a preto je nutné im venovať zvýšenú pozornosť a ďalej ich skúmať. Niekoľkoročné systematické sledovanie týchto javov, tvorba európskej databázy European Severe Weather Database (ESWD – Dotzek a kol., 2006, 2009) na základe reportovania nebezpečných prejavov počasia od náhodných pozorovateľov a pracovníkov národných meteorologických služieb, už umožňujú podrobnejšiu analýzu výskytu týchto javov. V analýze pomáhajú aj kvalitné rádiolokačné dáta, čiastočne aj údaje zo siete profesionálnych meteorologických meraní.

Spomedzi nebezpečných búrkových javov sme v článku analyzovali len krúpy. Práve krúpy totiž spôsobujú obrovské škody, v niektorých prípadoch sa počítajú v stovkách miliónov až miliardách EUR (Zimmerli, 2005; Hilfiker, 2009; SwissRe, 2014; Punge a Kunz, 2016; Púčik a kol., 2019). Podľa Kemény a kol. (2012) sú v Maďarsku po suchu druhým najvýznamnejším zdrojom škôd v poľnohospodárstve. Škody krúpami v poľnohospodárstve zmapovali aj ďalší autori (Hrudička, 1937; Roncali, 1955; Morgan, 1973; Dessens, 1986a; Formayer a kol., 2001; Lindloff, 2003; Malkarova, 2011). Porras a kol. (2013) uvádzajú, že priemerné ročné kompenzácie za škody v poľnohospodárstve v Španielsku sú 240 mil. EUR. Krúpy

spôsobujú aj významné škody na budovách (poškodené strechy, fasády, okná...), napr. Kunz a kol. (2009) uvádzajú, že budovy v juhozápadnom Nemecku sú najčastejšie poškodené práve krúpami.

Škody spôsobené veľkými krúpami registrujeme aj na Slovensku. Dobré zdokumentované sú najmä prípady z posledných rokov, napr. búrky z východného Slovenska 14. 6. 2015 alebo 27. 8. 2017 (Šinger, 2015, 2017), kde sú okrem škôd v poľnohospodárstve zaznamenané škody na strechách budov, prípadne aj na autách, predovšetkým pri búrke v Košiciach 27. 6. 2019 (Šinger, 2019). Odborných prác na túto tému však zatiaľ existuje veľmi málo a týkajú sa buď jednotlivých prípadov (napr. Kaňák a kol. 2007), alebo možností ich detekcie prostredníctvom rádiolokátorov (Lišková, 2006). Ucelený prehľad o problematike však chýba, čo dokladujú aj Punge a Kunz (2016), ktorí sa snažili zhrnúť výskum krúp v Európe do jednej práce, no práce zo Slovenska v nej absentujú. Okrem toho existuje aj niekoľko historických záznamov z kroník. Napr. búrka 1. 7. 1853 v oblasti pozdĺž Dunaja medzi Viedňou a Bratislavou priniesla krúpy s veľkosťou až 7 cm, pričom takto veľké krúpy boli zaznamenané aj priamo v Bratislave (Plieninger, 1856). V rámci blízkeho okolia slovenských hraníc je z minulého storočia známy prípad z 22. júla 1939, kedy na Morave v meste Bylnice (neďaleko okresu Ilava) padali krúpy s priemerom nad 10 cm, pričom kroniky uvádzajú, že ich váha v niekoľkých miestach na Morave dosahovala 500–750 g (Munzar a kol., 1989). Spomedzi okolitých krajín však má najlepšie záznamy Poľsko.

Z minulého storočia má zdokumentované veľké množstvo prípadov, v ktorých padali krúpy s priemerom 2–5 cm, výnimočne aj viac, napr. 12. júna 1935 mali krúpy v obci Moszczaniec priemer až 9 cm (neďaleko okresu Medzilaborce) (ESWD).

V niektorých krajinách Európy sú k dispozícii dlhšie a robustnejšie časové rady výskytu krúp ako na Slovensku, napr. v Rakúsku (Svabik a kol., 2013), v Portugalsku (Santos a Pereira, 2018), v Rumunsku (Burcea a kol., 2016), v Turecku (Kahraman a kol., 2015) v Taliansku (Baldi a kol., 2014), vo Francúzsku (Vinet, 2001), v Slovinsku (Skok a kol., 2014), na Britských ostrovoch (Webb a kol., 2009), v Nemecku (Puskeiler, 2013), v Rusku (Abshaev, 2009) a ďalšie práce, prípadne súhrnné štúdie v rámci celej Európy (Punge a Kunz, 2016; Púčik a kol., 2019; Punge a kol., 2014) a v nich možno nájsť podrobnejšie spracované klimatologické charakteristiky krúp.

Počet záznamov krúp v posledných rokoch postupne narastá aj na Slovensku, až po súčasnosť (2019), kedy ich máme k dispozícii už dostatočné množstvo na podrobnejšiu analýzu a niekoľko základných vyhodnotení. V práci sa budeme snažiť doplniť medzeru v našich znalostiach o výskyte veľkých krúp a ich materských búrok na Slovensku. Cieľom je načrtnúť základnú klimatológiu búrok, ktoré priťahujú veľké krúpy, teda ich priestorovú distribúciu, v akých oblastiach padajú najčastejšie, koľko búrok ako nositeľov takýchto krúp v našom regióne priemerne vzniká a pod. Z časového hľadiska vyhodnotíme len základné štatistické parametre, ako napr. početnosť udalostí v jednotlivých mesiacoch a rokoch. Časové trendy však odhadovať nebudeme, keďže analyzované obdobie (2007–2019), z ktorého existuje dostatočné množstvo záznamov, je príliš krátke.

## METODIKA

Základom analýzy boli záznamy o veľkých krúpach v ESWD spravovanej ESSL (European Severe Storm Laboratory), ktorej členom je aj SHMÚ. Do databázy najčastejšie pridávajú záznamy pracovníci ESSL, národných meteorologických služieb (teda SHMÚ za Slovensko), amatérskych organizácií atď., no môže tam prispievať ktokoľvek a údaje sú následne verifikované zodpovednými organizáciami.

Autori článku ešte pred spísaním a vyhodnotením výsledkov z ESWD hľadali záznamy krúp aj z ďalších dostupných zdrojov (najčastejšie zo správ z médií na internete, zo záznamov užívateľov sociálnych sietí a z interných zdrojov) a tie následne pridali do ESWD. Vedľajším prínosom tohto článku tak bolo aj rozšírenie databázy, ako aj verifikácia už existujúcich záznamov krúp z územia Slovenska v ESWD od r. 2000 do konca septembra r. 2019.

V ESWD sú záznamy krúp, ktorých maximálny priemer bol aspoň 2 cm. V niekoľkých prípadoch však nebol bližšie špecifikovaný, no z popisu škôd vyplývalo, že toto kritérium bolo v danej situácii splnené. Do analýzy sme zahrnuli aj také prípady a priradili sme im priemer 2 cm. Okrem záznamov priamo z územia Slovenska sme využili aj záznamy z okolitých krajín, ktoré boli od slovenských hraníc vzdialené najviac 15 km. Vo viacerých situáciách totiž chýbali záznamy z územia Slovenska, no bunka, ktorá

vyprodukovala krúpy v blízkosti slovenských hraníc, sa podľa radaru vyskytla aj na Slovensku a je tak zvýšená pravdepodobnosť, že krúpy padali aj územím Slovenska. Na základe týchto dát sme s pomocou radarových meraní SHMÚ určili počet buniek, ktoré vyprodukovali veľké krúpy tak, že jednej bunke sme priradili len jeden záznam o najväčších krúpach, ktoré daná bunka na celej dĺžke trasy vyprodukovala. Vzhľadom na nejednotnú metodiku meraní v priebehu sledovaného obdobia nebolo možné zvoliť konkrétnu hraničnú hodnotu rádiolokačnej odrazivosti pre identifikáciu bunky. Tú sme preto identifikovali ako jadro lokálne najvyšších hodnôt odrazivosti v porovnaní s okolím. Na identifikáciu jednotlivých buniek sme využívali produkty CAPPI 2 km (rádiolokačná odrazivosť v nadmorskej výške 2 km) a cmAX (maximálna rádiolokačná odrazivosť v stĺpci) s vertikálnymi priemetmi odrazivosti. Vo všetkých prípadoch bolo možné jednotlivé záznamy o krúpach priradiť ku konkrétnym bunkám, v niekoľkých prípadoch však bol záznam v ESWD s veľkou neurčitou (+/- 3 hodiny), no podľa rádiolokačných dát bolo možné záznam priradiť ku konkrétnej bunke. Ak sa krúpy vyskytli v rámci väčšieho búrkového systému, záznam o krúpach sme priradili k najvyššej detegovanej rádiolokačnej odrazivosti v rámci systému. V analýze je celkovo zahrnutých 359 záznamov, z toho 207 je z územia Slovenska a 152 z 15 kilometrového okolia susedných štátov. V prípadoch, v ktorých bola veľkosť krúp uvádzaná s presnosťou desiatin centimetra, sme údaj matematicky zaokrúhlili.

Početnosť výskytu veľkých krúp sme interpretovali v gridovej sieti. Skúšali sme veľkosť gridu 15 x 15, 20 x 20 a 30 x 30 km, pričom 20 x 20 najlepšie vyhovovalo nášmu cieľu – ukázať s dostatočnou presnosťou regionálne rozdiely. Pri menšom gride sa častejšie vyskytovali veľmi veľké rozdiely v rámci susedných štvorcov a pri väčšom zanikali regionálne rozdiely a výsledky už viac záviseli od konkrétneho umiestnenia gridovej siete. Výsledná sieť má celkovo 179 štvorcov, ktoré pokrývali celé územie Slovenska a blízke okolie, pričom do analýzy sme zahrnuli aj štvorce, ktoré boli celé mimo Slovenska, no len v prípade, ak ich najbližšia časť bola od slovenských hraníc vzdialená najviac 5 km. Vznikla tak ďalšia databáza, v ktorej sme celkovo analyzovali 296 záznamov veľkých krúp. Pre ďalšie vyhodnocovanie sme sieť rozdelili na tri časti – západ (Bratislavský, Trnavský, Trenčiansky a Nitriansky kraj) 63 štvorcov, stred (Banskobystrický a Žilinský kraj) 52 štvorcov a východ (Košický a Prešovský kraj) 64 štvorcov, pričom štvorce, ktoré sa nachádzali na rozhraní oblastí, sme pričlenili k tej, v ktorej mal štvorec väčšinu plochy. Ak sa v danom štvorci vyskytlo viac záznamov o krúpach, ktoré priniesla rovnaká bunka, do štatistik sme zahrnuli len jeden záznam o najväčších krúpach. Tá istá bunka však mohla priniesť krúpy rozličnej veľkosti do viacerých štvorcov. Keďže nás v tomto vyhodnutí zaujímala početnosť výskytu krúp z hľadiska jednotlivých štvorcov, nie buniek, ako v predošlom vyhodnutí, do našej databázy sme zahrnuli aj tieto prípady<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Stále však najviac jeden záznam pre jeden štvorec z tej istej bunky.



Pri zobrazení záznamov do mapovej formy môžu byť malé odchýlky ich polohy od skutočnej z dôvodu lepšej prehľadnosti máp, ako aj priestorovej korelácie záznamov s ostatnými mapami.

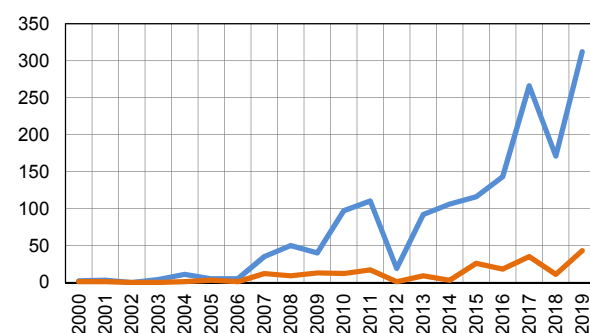
Obdobie analyzovaných rokov 2007 až 2019 (do 30.9.2019) sme vybrali podľa toho, aby sme boli schopní priradiť záznamy o krúpach ku konkrétnym bunkám. Na to sme potrebovali kompletný archív radarových dát, ktorý je z radaru Kojšovská hoľa dostupný od leta roku 2006 (z radaru Malý Javorník už skôr). Aby sme teda začali uceleným rokom, prvý rok našej analýzy bol 2007. Zhodou okolností, práve v r. 2007 je v ESWD výraznejší nárast záznamov z územia Slovenska, čo dokumentuje graf na obrázku 1, pričom nárast v rokoch 2006 alebo 2007 zaznamenali aj všetky okolité krajiny, ktorých záznamy sme taktiež využívali v analýze (Obr. 2). Množstvo záznamov pribúdalo aj v ďalších rokoch, no jednotlivé krajiny už nevykazujú rovnaký trend nárastu. Nárast záznamov v ESWD nesúvisí s nárastom počtu udalostí, ale s väčšou informovanosťou používateľov o existencii ESWD, ktorá je v online prevádzke od r. 2006 (Dotzek a kol., 2006).

V práci sme pre niektoré účely rozdelili záznamy do skupín podľa veľkosti na dve skupiny 2–4 cm a 5–8 cm. Delenie sme zvolili na základe škôd, ktoré krúpy najčastejšie spôsobujú v závislosti od veľkosti. Podľa Púčik a kol. (2019) výraznejšie narastajú škody práve od hranice 5 cm, keď už typicky dochádza k poškodeniu striech, okien, áut a pod. a výrazne rastie riziko zranenia ľudí. Pri krúpach

2–3 cm sú typické škody skôr na poľnohospodárskych plodinách, stromoch či skleníkoch, no ak takéto krúpy vypadávajú pri downburste, môžu spôsobiť aj výraznejšie škody (napr. prípadová štúdia Kaňák a kol., 2007).

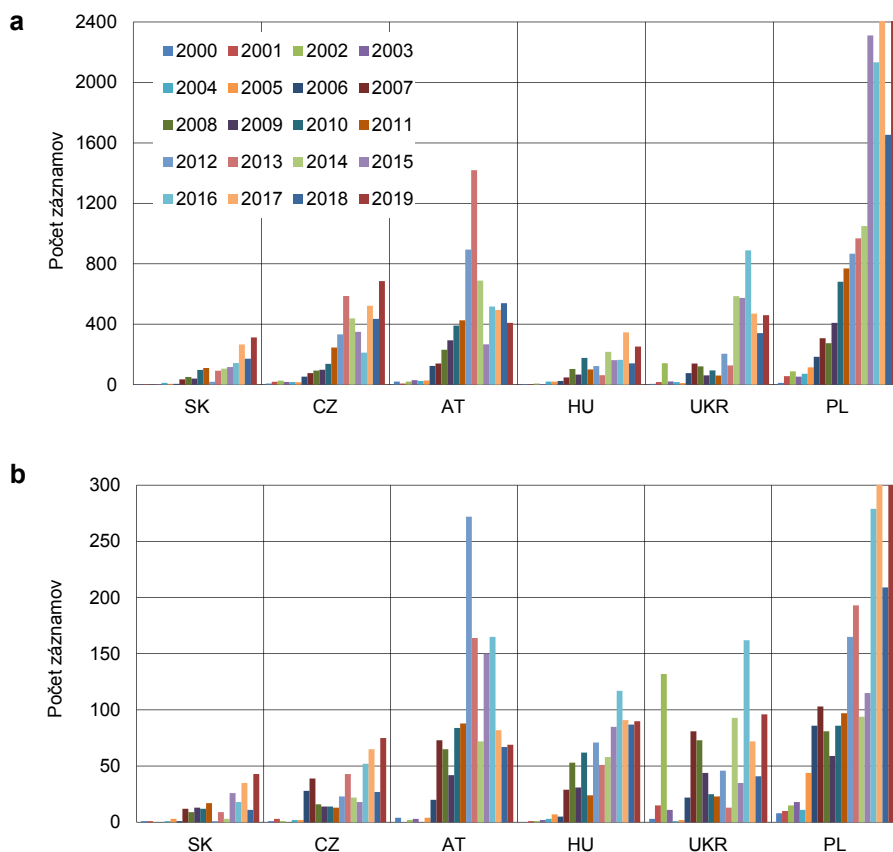
**Obrázok 1.** Časový vývoj všetkých záznamov v ESWD (modrá krivka) a záznamov krúp (oranžová krivka) z územia Slovenska od 1.1.2000 do 30.9.2019. Nárast počtu záznamov od roku 2007, dovtedy väčšinou do 5 záznamov/rok. Záznamy krúp vykazujú výrazne menší nárast v ďalších rokoch oproti všetkým záznamom spolu.

Figure 1. Temporal development of all records in ESWD (blue curve) and hail records (orange curve) in Slovakia from 1.1.2000 to 30.9.2019. Increase in records since 2007, until then mostly up to 5 records/year. The hail records show a significantly smaller increase in the following years compared to all records together.



**Obrázok 2.**  
Časový vývoj počtu  
(a) všetkých záznamov  
v ESWD v jednotlivých  
štátoch, (b) záznamov krúp  
v jednotlivých štátoch, od  
1.1.2000 do 30.9.2019  
(maximálne hodnoty pre  
Poľsko z posledných rokov  
nie sú zobrazené, pretože boli  
príliš vysoké a pri prešká-  
lovaní by tak vývoj záznamov  
v iných krajinách nebol  
rozoznateľný).

Figure 2.  
Temporal development of  
(a) all ESWD records by  
countries, (b) hail records by  
countries, from 1<sup>st</sup> January  
2000 to 30<sup>th</sup> September 2019  
(maximum values for Poland  
from recent years not shown  
because they were too high  
and scaled the development  
of records in other countries  
would not be discernible).

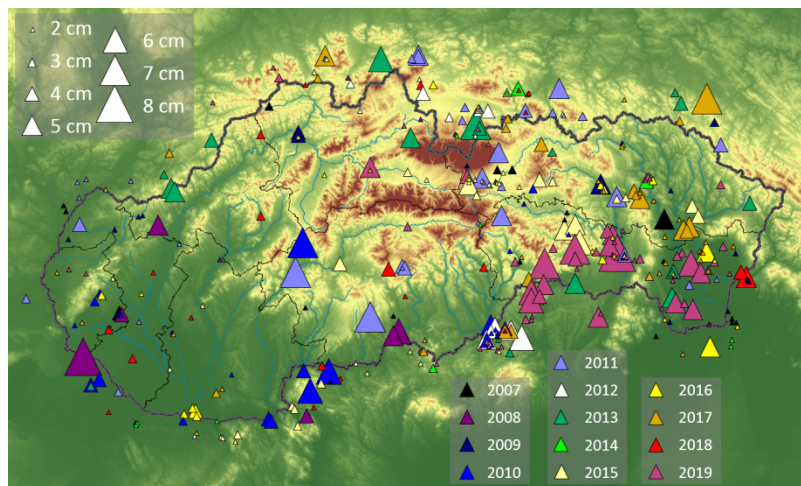


### Obrázok 3.

Všetky záznamy krúp na Slovensku a v okolí 15 km od slovenských hraníc v období 1.1.2007–30.9.2019, veľkosť symbolov predstavuje maximálny priemer krúp, farba predstavuje rok, v ktorom boli krúpy zaznamenané (legenda v obrázku).

Figure 3.

All hail records in Slovakia and around 15 km surrounding from 1<sup>st</sup> January 2007 to 30<sup>th</sup> September 2019, the size of the symbols represents the maximum diameter of hail, the color represents the year in which the hail was recorded (legend in the picture).

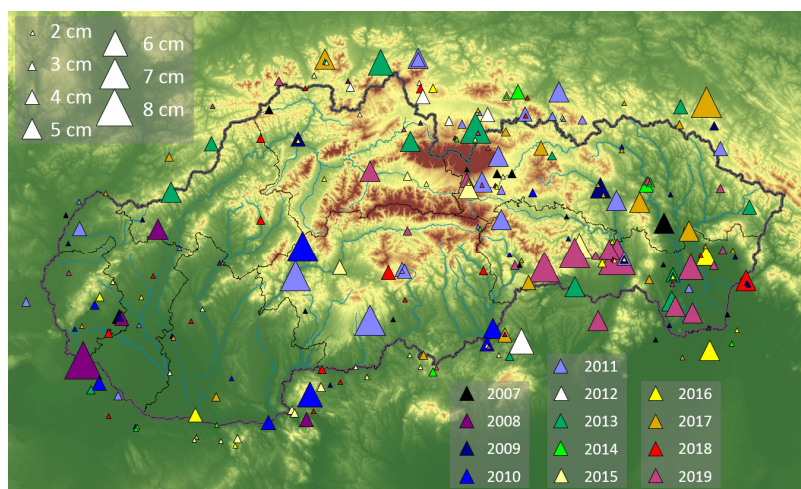


### Obrázok 4.

Výskyt krúp pre jednotlivé bunky v období 2007–2019. Pre každú bunku je uvedený len jeden symbol s maximálnou veľkosťou krúpy, ktorú daná bunka počas svojej existencie vyprodukovala (popis symbolov rovnaký ako na Obr. 3).

Figure 4.

Occurrence of hail for individual cells in the period 2007–2019. Only one symbol is shown for each cell, with the maximum hail size it produced (symbol description as in Fig. 3).



## VÝSLEDKY

Z analyzovaných rokov 2007 až 2019 sme zistili, že záznamy sú výrazne nehomogénne priestorovo rozložené. Na obrázku 3 sú všetky zaznamenané krúpy s priemerom 2 cm a viac (ďalej 2cm+) zo Slovenska a z blízkeho okolia do 15 km od slovenských hraníc. Najviac ich je v Košickom kraji, v okolí Prešova, v tatranskej oblasti a v slovensko-maďarskom pohraničí v údolí rieky Slaná. Naopak, málo záznamov je z Nitrianskeho a Trenčianskeho kraja, na väčšine stredného Slovenska, Horného Zemplína a časti Šariša.

Samotné záznamy sú však ovplyvnené viacerými faktormi, ktoré musíme odfiltrovať a až následne môžeme výsledky interpretovať. Pre zaznamenávanie krúp je sieť profesionálnych staníc SHMÚ s pozorovateľmi absolútne nedostatočná, pretože sú od seba vzdialené desiatky km, no krúповé jadrá sú rádovo menšie, v niektorých prípadoch len 1–2,5 km (Changnon, 1970), a preto je len malá pravdepodobnosť, že veľké krúpy padajú priamo na stanici. Drvivá väčšina záznamov teda pochádza od náhodných pozorovateľov. Tí sú v určitých oblastiach aktívnejší alebo je ich viac, čo môže lokálne navyšovať množstvo záznamov<sup>2</sup>.

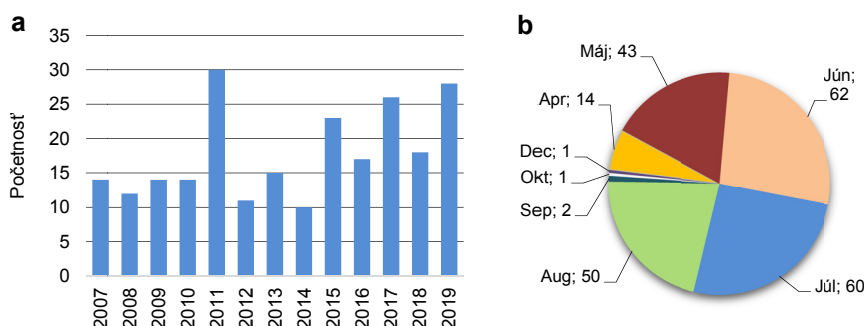
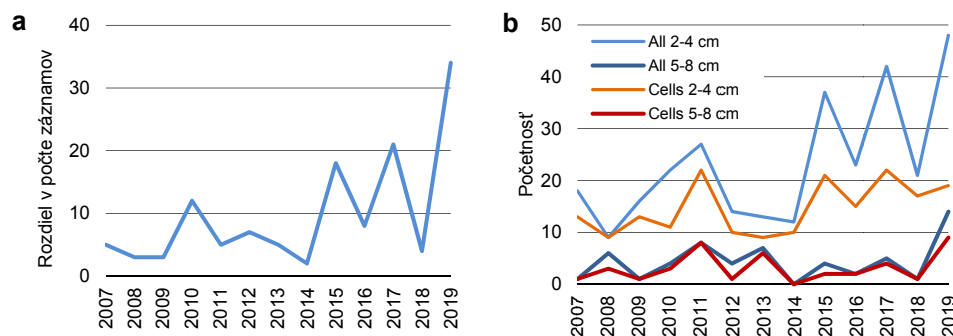
<sup>2</sup> Neznamená, že údaje sú nesprávne. Ide len o relatívne nadhodnotenie, napr. Reča, Giraltovce či Košické Olšany.

Ďalší faktorom je počet záznamov k jednej bunke. Na obrázku 4 sme zobrazili záznamy krúp tak, že jednej bunke sme priradili práve jeden záznam s najväčšími krúpami. Dôležité je zistenie, že počas sledovaného obdobia postupne narastá rozdiel v počte všetkých záznamov krúp oproti počtu jednotlivých buniek, ktoré tieto krúpy priniesli, čo ilustruje graf na obrázku 5a. Taktiež sme zistili, že množstvo záznamov (prípadne jednotlivých buniek, ktoré priniesli veľké krúpy) s krúpami 5 cm a viac (5cm+), nevykazuje žiadny významný trend, no výrazne narastá množstvo záznamov menších krúp, čo zobrazuje obrázok 5b. Vzhľadom na koreláciu s rastúcim trendom v počte všetkých záznamov a príliš krátky časový rad nemôžeme usudzovať, že sa počet situácií s krúpami v priebehu analyzovaného obdobia zväčšil, skôr sa zvýšila pravdepodobnosť, že ich niekto zdokumentuje. Navyše, menšie krúpy (2–3 cm) spôsobujú menšie škody ako krúpy 5cm+, preto častokrát ujdú pozornosťou médií a spätne sa k takýmto udalostiam už väčšinou nedá dostať, no záznamy o krúpach 5cm+ sa dajú nájsť aj s väčším časovým odstupom. Okrem toho, jedna bunka môže počas svojej existencie produkovať krúpy rôznej veľkosti, no záznam mohol existovať len jeden. Napr. v rokoch 2007–2014 evidujeme len 2 prípady s aspoň piatimi záznamami pre jednu bunku, no v rokoch 2015–2019 je takýchto prípadov 6.

**Obrázok 5. (a) Rozdiel počtu všetkých záznamov (All) a záznamov pre jednu bunku (Cells), (b) počet záznamov jednotlivých skupín veľkosti krúp v jednotlivých rokoch (legenda v obrázku).**

Figure 5.

(a) Difference in the number of all records (All) and records for one cell (Cells), (b) records of each group of hail sizes by year (legend in the figure).



**Obrázok 6.**

**Počet buniek, ktoré vyprodukovali krúpy s maximálnym priemerom 2 cm a viac (a) v jednotlivých rokoch, (b) v jednotlivých mesiacoch.**

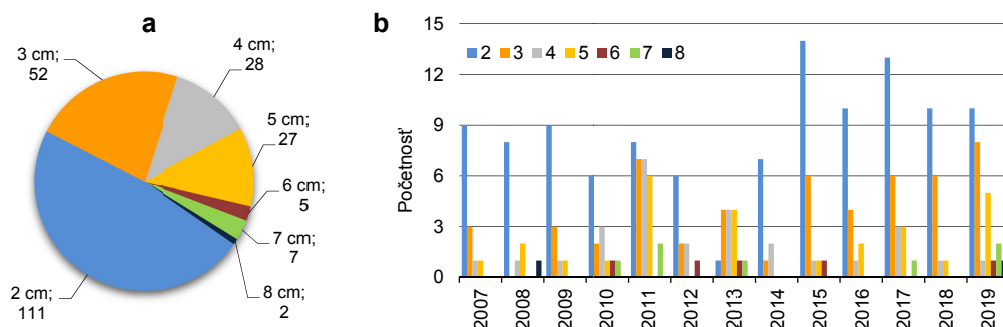
Figure 6.

Number of cells producing hail with a maximum diameter of 2 cm or more (a) per year, (b) per month.

**Obrázok 7. (a) Počet záznamov buniek s krúpami s maximálnou veľkosťou krúp v cm uvedenou v grafe, (b) ich distribúcia v jednotlivých rokoch, všetky údaje sú pre jednotlivé bunky.**

Figure 7.

(a) Number of hail cell records with the maximum hail size in cm shown in the graph, (b) their distribution in each year, all data are for individual cells.



Na Slovensku a v okolí 15 km od hraníc sme za sledované obdobie celkovo identifikovali 232 buniek, ktoré vyprodukovali krúpy 2cm+. Početnosť v jednotlivých rokoch je na obrázku 6a. Ročne sme v priemere zaznamenali 18 takýchto buniek, pričom najviac ich bolo v r. 2011, až 30, naopak najmenej, 10, v r. 2014. Taktiež sme vyhodnocovali, kedy sa ich vyskytuje najviac v rámci roka. Na obrázku 6b vidieť, že najčastejšie sa vyskytujú v lete, čiastočne aj na jar, no na jeseň a v zime je ich výskyt mimoriadne zriedkavý. 5cm+ sme zaznamenali najviac v r. 2019, kedy ich bolo 9, no väčšinou (8/13 rokov) sa vyskytovali 1–3 takéto bunky ročne (Obr. 5b).

Na obrázku 7 je počet buniek, ktoré priniesli krúpy vyhodnotené z hľadiska veľkosti krúp (7a) a v jednotlivých rokoch (7b). Bunky najčastejšie produkovali krúpy 2 cm, až v takmer polovici prípadov, v niečo menej ako štvrtine 3 cm, približne osminu prípadov tvorili 4 a 5 cm. Výrazný pokles sme zaznamenali pri bunkách s krúpami 6 cm+.

Krúpy 6 a 7 cm vyprodukovalo 4 až 5-krát menej buniek ako 4 a 5 cm, pričom len dvakrát sme zaznamenali bunku, ktorá priniesla krúpy 8 cm – 7.7.2008 v Maďarsku južne od Bratislavy a 27. 6. 2019 v Košiciach.

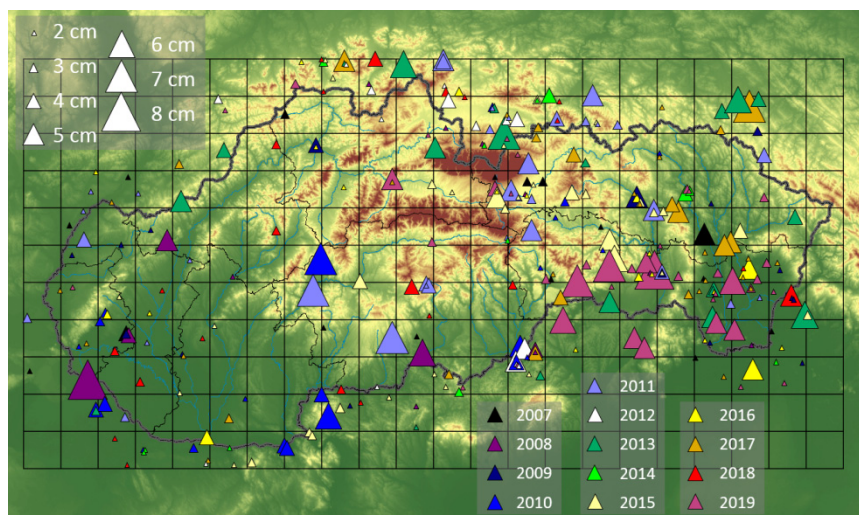
Vyhodnotenie výskytu jednotlivých buniek nehovorí o početnosti výskytu padania krúp v určitej oblasti. Pre tento účel sme zvolili gridovú sieť 20 x 20 km zobrazenú na obrázku 8 (podrobnejší popis v kapitole Metodika), pričom pre jeden štvorec sme použili najviac jeden záznam z jednej bunky<sup>3</sup>. Počet záznamov v jednotlivých štvorcoch sme následne vydělili počtom analyzovaných rokov, z čoho sme dostali odhad relatívnej početnosti výskytu krúp 2cm+ a 5cm+ v jednotlivých štvorcoch počas sledovaného obdobia. Výsledky sú na obrázkoch 9a a 9b.

<sup>3</sup> Tá istá bunka však mohla vyprodukovať krúpy vo viacerých štvorcach.



**Obrázok 8.**  
Záznamy krúp v gridovej sieti  
20 x 20 km v období 1.1.2007 –  
30.9.2019 (popis symbolov  
rovnaký ako pri obrázku 3).  
V jednom štvorci je najviac  
jeden záznam pre jednu bunku.

Figure 8.  
Records of hail in a grid  
of 20 x 20 km in the period  
1.1.2007 – 30.9.2019  
(description of the symbols  
is the same as in Fig. 3).  
There is at most one record  
per cell in one square.



Keďže počet záznamov v jednotlivých štvorcoch gridovej siete je závislý od konkrétneho umiestnenia gridovej siete, pri interpretácii výsledkov je vhodné sa viac zameriavať na jednotlivé oblasti, ako na konkrétne štvorce. Na obrázku 9a vidíme, že najčastejší výskyt krúp 2cm+ je na východnom Slovensku, predovšetkým vo Východoslovenskej nížine, vo východnej polovici Volovských vrchov a priľahlej časti Košickej kotliny, v okolí Prešova a v Popradskej kotline, kde je to v jednotlivých štvorcoch väčšinou raz za dva až tri roky. Vyššia početnosť je podľa obrázku 9a ešte na Zamagurí, na pohraničí stredného Slovenska – s Poľskom i s Maďarskom, ako aj v pohraničných oblastiach v okolí juhu západného Slovenska. Pri porovnaní s obrázkom 8 však vidíme, že pri pohraničných oblastiach ide vo väčšine prípadov o záznamy mimo územia Slovenska, čo však samozrejme nevylučuje, že sa krúpy mohli vyskytnúť aj na Slovensku. Podobne, ako sme popisovali obrázku 3, aj tu vidieť, že väčšina západného, stredného Slovenska, Horného Zemplína, horného Šariša vykazuje len nízku početnosť výskytu, väčšinou do 0,1.

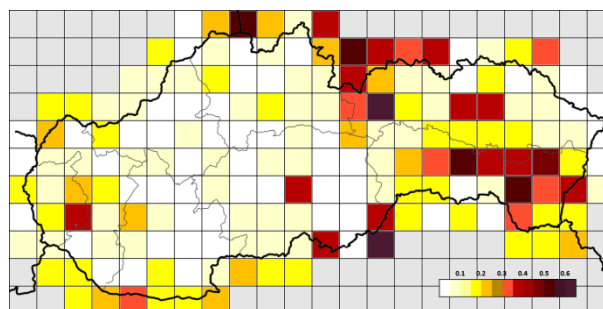
V prípade výskytu krúp 5cm+ je len malá početnosť v celej sledovanej doméne (Obr. 9b), ale predsa je možné identifikovať relatívne rozdiely v rámci Slovenska. Najvyšší priemerný výskyt sme zaznamenali v Košickom kraji a blízkom okolí a v tatranskej oblasti. Naopak na západnom a strednom Slovensku je početnosť v jednotlivých štvorcoch veľmi nízka až nulová, resp. vo väčšine štvorcov sa takéto krúpy za sledované obdobie nevyskytli vôbec. To samozrejme neznamená, že ich výskyt tu nie je možný, ale perióda výskytu môže byť podstatne väčšia ako náš analyzovaný rad. Vzhľadom na to, že v celej doméne máme zo 179 štvorcov len 40 s krúpami 5cm+, nemá zmysel ich hlbšie analyzovať v jednotlivých gridoch siete.

Typickými producentami veľkých krúp sú supercely (Browning, 1964; Blair a kol., 2017; Smith a kol., 2012), teda bunky s rotujúcim výstupným prúdom, ktorý je dostatočne silný a stabilný, a umožní tak rast krúp do veľkých rozmerov. Všetky prípady 5cm+ a väčšina prípadov 3–4 cm bola spojená s bunkami, ktoré na poliach rádiolokačnej odrazivosti vykazovali niektoré črty typické pre supercely – mezocyklóna, hook echo, weak echo region/bounded

weak echo region, V-notch (Chisholm a Renick, 1972; Lemon, 1980; Moller a kol. 1994, Markowski 2002a), tzv. štiepenie buniek a ich výrazný odklon oproti priemernému prúdeniu v troposfére (Rotunno a Klemp, 1982, 1985; Klemp, 1987). Priestorová distribúcia krúp uvedená na obrázkoch 9a a 9b sa zhoduje s najčastejším výskytom superciel na Slovensku a v okolí podľa Šinger (2013), teda najviac ich je na východnom Slovensku, menej na strednom a minimum na západnom Slovensku.

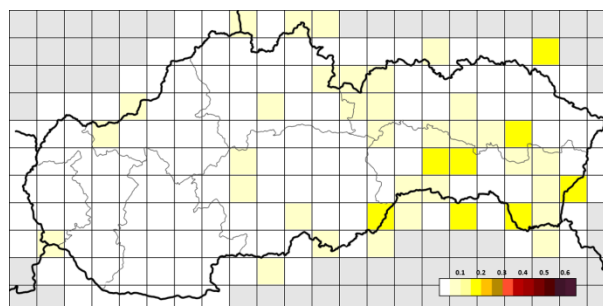
**Obrázok 9a. Početnosť výskytu krúp 2cm+ v gridovej sieti 20 x 20 km za rok v období 1.1.2007 – 30.9.2019.**

Figure 9a. Frequency of occurrence of hail 2cm+ in grid network 20 x 20 km per year in the period 1.1.2007 – 30.9.2019.



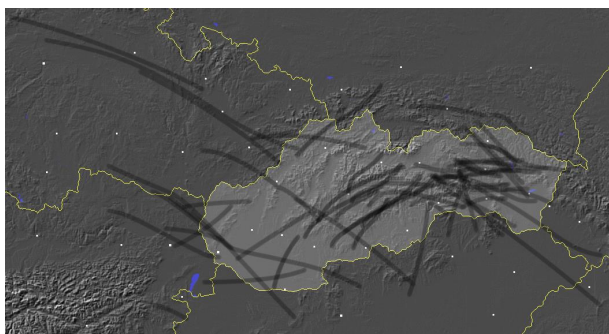
**Obrázok 9b. Početnosť výskytu krúp 5cm+ v gridovej sieti 20 x 20 km za rok v období 1.1.2007 – 30.9.2019.**

Figure 9b. Frequency of occurrence of hail 5cm+ in grid network 20 x 20 km per year in the period 1.1.2007 – 30.9.2019.



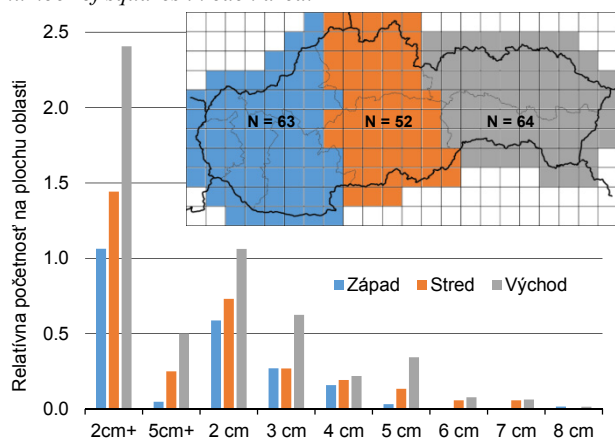
**Obrázok 10. Trajektórie superciel v rokoch 2006–2012 (Šinger, 2013).**

Figure 10. Supercell trajectories in 2006–2012 (Šinger, 2013).



**Obrázok 11. Relatívna početnosť jednotlivých udalostí na štvorec 20x20 km v období 1.1.2007–30.9.2019 na západnom, strednom a východnom Slovensku. Vpravo hore v obrázku je rozdelenie územia do jednotlivých oblastí aj s uvedením počtu štvorcov v jednotlivých oblastiach<sup>4</sup>.**

Figure 11. Relative frequency of individual events per square 20x20 km in the period 1.1.2007–30.9.2019 in western, central and eastern Slovakia. The division of the territory into individual areas is at the top right of the figure, including the number of squares in each area.



Zanalyzujeme teraz našu gridovú sieť rozdelením do troch väčších celkov – západ (Bratislavský, Trnavský, Nitriansky a Trenčiansky kraj), stred (Banskobystrický a Žilinský kraj) a východ (Košický a Prešovský kraj) a priľahlé okolie pri hraniciach. Na obrázku 11 je zobrazená početnosť v jednotlivých oblastiach normovaná na počet štvorcov danej oblasti (počet je uvedený v pravej hornej časti obrázku) pre krúpy 2cm+, 5cm+ a pre jednotlivé veľkosti krúp. Z histogramu je vo všetkých skupinách zjavné, že najvyššia početnosť je na východe oblastí<sup>5</sup>. Krúpy 2cm+ sa tu v jednom štvorci priemerne vyskytli cca 2,5-krát, pričom vysokú početnosť, až 0,5 na štvorec, vykazujú aj krúpy 5cm+. V strede oblasti je početnosť nižšia, 2cm+

<sup>4</sup> Stred má najmenej štvorcov, pretože má podstatne kratšiu hranicu so susednými štátmi.

<sup>5</sup> Výnimku tvoria len krúpy 8 cm, ktoré boli zaznamenané na západe aj východe oblasti, no vzhľadom na to, že existujú len dva takéto záznamy, nie je možné ich štatisticky spracovať.

približne 1,5-krát v jednom štvorci a 5cm+ 0,25/štvorec, čo je o polovicu menej, ako na východe. Najnižšia početnosť je na západe, kde sa krúpy 2cm+ vyskytli v jednom štvorci priemerne raz za celé sledované obdobie, pričom početnosť 5cm+ je veľmi nízka, len 0,05/štvorec, čo je až desaťnásobne menej, ako na východe oblasti.

## DISKUSIA A ZÁVER

Článok predstavuje prvé systematické spracovanie výskytu krúp na Slovensku. V minulosti totiž spracovanie nebolo možné, pretože databáza prípadov prakticky neexistovala. Spred roku 2007 sme našli len niekoľko záznamov a výrazne prevažovali také, ktoré mali veľký dopad na socioekonomickú sféru, čo však na systematickú analýzu nestačilo. Dokumentácia krúp, nanešťastie, silno závisí od reportovania náhodných pozorovateľov, pretože sieť profesionálnych meteorologických staníc s pozorovateľmi je príliš riedka na to, aby z nej bolo možné zbierať postačujúce množstvo údajov o krúpach vhodných na klimatologické spracovanie (Punge a Kunz, 2016). V posledných rokoch sa však vďaka vedecko-technickému pokroku výrazne zlepšili podmienky zaznamenávania aj takých meteorologických javov, ktoré sa odohrávajú na malej časopriestorovej škále, akými sú napr. búrkové javy, vrátane krúp. Možnosť odфотографovať a zdieľať fotografie má už väčšina populácie, a preto je podstatne väčšia pravdepodobnosť, že aj krúpy niekto zaznamená, najmä v hustejšie obývaných oblastiach. Predovšetkým meteorológovia SHMÚ sa v posledných rokoch na Slovensku výrazne pričínili o systematické vyhľadávanie a zadávanie záznamov o nebezpečnom počasí do databázy ESWD, vďaka čomu je možné tieto javy podrobnejšie skúmať.

Pri analýze sme v niektorých pohraničných oblastiach identifikovali podstatne väčšie množstvo záznamov z okolitých krajín ako zo Slovenska. Je však pravdepodobné, že príčinou týchto rozdielov nie sú rozličné atmosférické podmienky, ale lepšie reportovanie udalostí z okolitých krajín. Týka sa to najmä Poľska alebo slovensko-maďarského pohraničia v údolí rieky Slaná (čo dokumentuje aj Obr. 2), kde sme podľa radarových dát vo viacerých prípadoch registrovali tú istú bunku na slovenskej aj maďarskej strane hranice, no záznamy boli, až na jednu výnimku (3.7.2010), len z Maďarska<sup>6</sup>.

V článku sme ukázali, že vzhľadom na množstvo záznamov a rádiolokačné dáta má zmysel systematicky analyzovať krúpy na Slovensku od roku 2007, analyzované obdobie končí septembrom r. 2019. Významnou pridanou hodnotou článku je predovšetkým roztriedenie záznamov podľa jednotlivých buniek, ktoré krúpy priniesli. Počas sledovaného obdobia sme identifikovali 232 buniek, ktoré vyprodukovali krúpy s priemerom 2 cm a viac, pričom 41 z nich prinieslo krúpy s priemerom 5 cm a viac. Bunky s krúpami 2 a 3 cm predstavovali 70 % z nich, 4 a 5 cm 24 %, pričom výrazný pokles početnosti sme zaznamenali pri bunkách s krúpami s priemerom 6 cm, ktorých bolo len

<sup>6</sup> Zreteľné je to v prípadoch z 24.6.2008, 7.7.2008, 4.8.2012, 9.7.2012, 12.5.2013 či 3.5.2017.



6 %. Najväčšie krúpy mali za sledované obdobie 8 cm, a vyskytli sa len v dvoch prípadoch, čo však nevylučuje, že sa u nás mohli, prípadne v budúcnosti môžu, vyskytnúť aj väčšie krúpy. Svedčia o tom aj staršie záznamy z blízkeho pohraničia Slovenska, kde boli zaznamenané krúpy s priemerom až okolo 10 cm (ESWD), prípadne záznamy z ďalších európskych krajín, kde sa vyskytli ešte väčšie krúpy. Tie najväčšie boli zaznamenané 20. júna 2016 v Sânaandrei v západnom Rumunsku a ich priemer dosahoval až 15 cm (Púčik, 2019), prípadne 14 cm 6. augusta 2013 v Undingen v juhozápadnom Nemecku a 10. júla 2019 v talianskom meste Pescara (ESWD). Všetky spomínané udalosti spôsobili obrovské škody na majetku, porastoch a zranili mnoho ľudí.

Na území Slovenska a v blízkom okolí sa v priemere ročne vyskytlo 18 buniek s krúpami s priemerom 2 cm a viac, najviac ich bolo v rokoch 2011 a 2019, pričom väčšina sa viazala na leto a neskorú jar, čo je v zhode s pozorovaniami z okolitých krajín (Punge a Kunz, 2016; Púčik a kol. 2019). Buniek s krúpami s priemerom 5 cm a viac sme zaregistrovali v priemere 1–3 za rok, najviac taktiež v rokoch 2011 a 2019, no napr. v r. 2014 sa podľa dostupných záznamov nevyskytla žiadna. Pre analýzu príčinných súvislostí rozdielov početnosti výskytu krúp v rámci jednotlivých rokov však bude nutné podrobnejšie zanalyzovať strihovú podmienku, ktoré v daných rokoch prevládali.

Pre ilustráciu regionálnych rozdielov sme záznamy o krúpach umiestnili do gridovej siete s rozmerom štvorca 20 x 20 km, územie Slovenska sme rozdelili na západ, stred a východ a plochu sme normovali pre jednotlivé oblasti a na jednu bunku, vďaka čomu sme ich mohli porovnávať. Po takto spracovaných údajoch sme najvyššiu početnosť výskytu krúp 2 cm a viac identifikovali na východnom Slovensku, kde bola až 2,5-krát vyššia ako na západnom, pričom pri krúpach s priemerom 5 cm a viac bola až 10-krát vyššia. Vyššiu mieru rizika padania krúp na východnom ako na západnom Slovensku identifikovali aj Punge a kol. (2014), či Púčik a kol. (2019). V rámci východného Slovenska sa veľké krúpy najviac sústredili na Východoslovenskú nížinu, východnú polovicu Volovských vrchov a priľahlú časť Košickej kotliny, okolie Prešova a Popradskú kotlinu, kde sa veľké krúpy v oblasti 20 x 20 km priemerne vyskytli raz za dva až tri roky. Výsledky prác zameraných na výskyt krúp v okolitých štátoch nadväzujú na naše výsledky. Napr. Seres a Horváth (2015) identifikovali zvýšenú pravdepodobnosť výskytu krúp v severovýchodnej časti Maďarska, Kolkowska a Lorenc (2012) v južnom Poľsku, pričom v rámci jednotlivých meteorologických staníc vykazuje najvyššiu početnosť výskytu dní s krúpami stanica Zakopane v tatranskej oblasti, čo je v zhode s lokálnym maximom, ktoré sme tu identifikovali aj my<sup>7</sup>.

Vzhľadom na to, že typickými producentami veľkých krúp sú práve supercely (Blair a kol., 2017; Smith a kol., 2012), nie je prekvapivé, že distribúcia krúp na Slovensku

sa približne zhoduje s oblasťami, kde sa supercely vyskytujú najčastejšie (Šinger, 2013). Supercela je konvektívna štruktúra, ktorá pre svoj vznik vyžaduje, okrem základných ingrediencií dôležitých pre vývoj hlbokéj konvekcie (Doswell, 1996)<sup>8</sup>, aj silný vertikálny strih vetra - vo vrstve 0–6 km typicky okolo 20 m.s<sup>-1</sup> (Rasmussen a Blanchard, 1998). Dôsledkom silného strihu vetra v supercele vznikne silný a kvázistacionárny rotujúci výstupný prúd, ktorý tak dokáže udržať krúpy dlhšiu dobu, čím im umožňuje dostatok času na rast. Popísaná distribúcia výskytu krúp na Slovensku naznačuje, že vo vyššie spomínaných lokalitách zrejme dochádza k takýmto podmienkam častejšie.

V synoptickej škále môže byť príčinou nerovnomernej priestorovej distribúcie výskytu krúp v rámci Slovenska kombinácia veľkopriestorovej cirkulácie a väčších pohorí (Alpy, Karpaty), kvôli čomu dochádza k ovplyvňovaniu vývoja tlakových útvarov a atmosférických frontov. V závetrí pohorí môže dochádzať k tzv. záveternej cyklogenéze (McGinley 1982), k ovplyvňovaniu postupu atmosférických frontov (Schumann, 1987, Dickinson a Knight, 1999), prípadne k zvýšenej tendencii ich vlnenia v blízkosti pohorí (Bluestein, 1993). Tento vývoj následne ovplyvňuje prúdenie a distribúciu veličín aj v menšej škále (Markowski a Dotzek, 2011; Schneider, 2009), zosilnenie advekcie (Bosart a kol., 2006), zosilnenie výstupného prúdu búrky (Bluestein, 2000; Schneider 2009), prípadne tornádogenézu (Peyraud, 2013). V niektorých prípadoch dokonca prostredie z hľadiska veľkopriestorových parametrov vôbec nemusí byť vhodné na vznik napr. superciel, no orografia môže lokálne podmienky natoľko modifikovať, že supercela vznikne (Gaffin a Hotz, 2011).

Veľkopriestorová cirkulácia v atmosfére v kombinácii s lokálnymi efektami, vyvolanými jej interakciou s orografiou, tak podľa viacerých štúdií ovplyvňuje vznik a vývoj búrok (prípadne typ konvektívnej štruktúry), a teda aj ich sprievodné javy. To potvrdili napr. Stucki a Egli (2007) alebo Púčik a kol. (2019), ktorí uvádzajú, že v pohorských oblastiach Álp sa búrky s krúpami vyskytujú častejšie, ako v samotných Alpách. Podobnú závislosť na príklade Kaukazu uvádza aj Abshaev (2009), v okolí Pyrenej a Francúzskeho stredohoria (Vinet, 2001), v oblasti Pyrenej a Iberského pohoria (Burgaz, 2004). Vzhľadom na to, že značnú časť Slovenska pokrývajú pohoria (Karpaty), ako aj distribúciu a frekvenciu krúp a superciel v rámci jednotlivých častí krajiny, sa dá predpokladať, že orografia zohráva významnú úlohu aj na Slovensku. Analýza príčinných súvislostí preto bude predmetom nášho ďalšieho výskumu.

Okrem toho sme pre potreby tohto článku zhromaždili veľké množstvo údajov a výsledkov, ktoré spolu tvoria databázu, na základe ktorej je možné výskum v budúcnosti rozšíriť, napr. o analýzu radarových dát a následných možností detekcie krúp, ktoré by mohli byť využívané aj v operatívnej prevádzke.

<sup>7</sup> Práce však nepojednávajú priamo o veľkostiach krúp, ale o rádiolokačnej odrazivosti či počte dní s krúpami bez ohľadu na ich veľkosť, teda sú v nich zahrnuté aj prípady s krúpami s priemerom menej ako 2 cm.

<sup>8</sup> Dostatok vlhkosti v spodných hladinách troposféry v kombinácii s výraznejším vertikálnym teplotným gradientom v spodnej a strednej troposfére a iniciácia konvekcie.

## Pod'akovanie

Pod'akovanie patrí predovšetkým náhodným svedkom nebezpečných meteorologických javov (teda aj veľkých krúp), ktorí ich zdokumentovali a tieto informácie zdieľali či už cez facebookový profil SHMÚ, mail alebo galériu, alebo cez iný portál, čím sa spolupodieľali na vytvorení databázy ESWD. Bez týchto záznamov by nebolo možné skúmať výskyt veľkých krúp na Slovensku. Obzvlášť sa chceme poďakovať užívateľom, ktorí sami pridávajú záznamy do databázy ESWD a galérie SHMÚ. Tento článok bol čiastočne podporený grantovou agentúrou Slovenskej republiky v rámci projektu Vega č. 1/0940/171.

## Zoznam skratiek

ESSL – European Severe Storms Laboratory,  
ESWD – European Severe Weather Database,  
SHMÚ – Slovenský hydrometeorologický ústav  
krúpy 2cm+, 5cm+, 6cm+  
– krúpy s maximálnym priemerom 2/5/6 cm a viac

## LITERATÚRA

- Abshaev, M.T.–Malkarova, A.M.–Borisova, N.A., 2009, Zoning of the territory by hail hazard. *Tech. Rep. RD 52.37.722-2009. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET), Nalchik (in Russian).*
- Baldi, M.–Ciardini, V.–Dalu, J.D.–Filippis, T.D.–Maracchi, G.–Dalu, G., 2014, Hail occurrence in Italy: towards a national database and climatology. *Atmos. Res.* 138, 268–277.
- Blair, S. F., and Coauthors, 2017, High-resolution hail observations: Implications for NWS warning operations. *Wea. Forecasting*, 32, 1101–1119.
- Bluestein, H.B., 1993, *Synoptic-Dynamic Meteorology in Mid-latitudes. Vol. II: Observations and Theory of Weather Systems.* Oxford University Press, 594 pp.
- Bluestein, H.B., 2000, A Tornadoic Supercell over Elevated, Complex Terrain: The Divide, Colorado, Storm of 12 July 1996. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 795–809.
- Bosart, L.F.–Seimon, A.–LaPenta, K.D.–Dickinson, M.J., 2006, Supercell Tornadogenesis over Complex Terrain: The Great Barrington, Massachusetts, Tornado on 29 May 1995. *Wea. Forecasting*, 21, 897–922.
- Browning, K.A., 1964, Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. *J. Atmos. Sci.*, 21, 634–639.
- Burcea, S., R. Cică, and R. Bojariu, 2016: Hail Climatology and Trends in Romania: 1961–2014. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 4289–4299, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0126.1>.
- Burgaz, F., 2004. *Experiencia espanola. IICA Biblioteca Venezuela, Santiago, Chile* URL <https://books.google.de/books?id=3zwqAAAAYAAJ>.
- Dickinson, M.J.–Knight, D.J., 1999, Frontal Interaction with Mesoscale Topography. *J. Atmos. Sci.*, 56, 3544–3559.
- Dessens, J., 1986a, Hail in southwestern France. I: Hailfall characteristics and hailstorm environment. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25, 35–47.
- Doswell, C.A.–Brooks, H.E.–Maddox, R.A., 1996, Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. *Wea. Forecasting*, 11, 560–581.
- Dotzek, N.–Kratzsch, T.–Groenemeijer, P., 2006, The European Severe Weather Database (ESWD): An inventory of convective high-impact weather events for forecast and warning evaluation, climatology, and risk assessment. *Preprints, 2nd THORPEX International Science Symposium (STISS), Landshut, 4–8 December 2006, WMO/TD No. 1355, WWRP/THORPEX No. 7*, 228–229.
- Dotzek, N.–Groenemeijer, P.–Feuerstein, B.–Holzer, A.M., 2009, Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93, 575–586, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.020>.
- Formayer, H.–Eitzinger, S.–Nefzger, H.–Simic, S.–Kromp-Kolb, H., 2001, *Auswirkungen einer Klimaveränderung in Österreich: Was aus bisherigen Untersuchungen ableitbar ist.* University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna (in German).
- Gaffin, D.M.–Hotz D.G., 2011, An Examination of Varying Supercell Environments over the Complex Terrain of the Eastern Tennessee River Valley. *nwafiles.nwas.org/digest/papers/2011/Vol35No2/Pg47-Gaffin\_Hotz.pdf*.
- Hilfiker, H., 2009, Impact and implications of Swiss hailstorms in July 2009. *Tech. Rep. Guy Carpenter [Online; accessed 04-November-2014].* URL <http://www.gccapitalideas.com/2009/10/10/>
- Hrudička, B., 1937, Über Hagelschlag in Mähren-Schlesien. *Československé Společnosti Zeměpisné* 54 (7), 265–267 (in German).
- Changnon, S.A., 1970, Hailstreaks. *J. Atmos. Sci.* 27, 109–125.
- Chisholm, A.J.–Renick, J.H., 1972, The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms, *Alberta Hail Studies, 1972. Research Council of Alberta Rep.* 72–2, 24–31.
- Chromá, K.–Brázdil, R.–Tolasz, R., 2005, Spatio-temporal variability of hailstorms for Moravia and Silesia in the summer half-year of the period 1961–2000. *Meteorologický časopis, Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav*, 2005, roč. 8, č. 2, 65–74.
- Kahraman, A.–Tiliev-Tanriover, Ş.–Kadioglu, M.–Schultz, D.M.–Markowski, P.M., 2016, Severe Hail Climatology of Turkey. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 337–346, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0337.1>.
- Kaňák J.–Benko M.–Simon A.–Sokol A., 2007, Case study of the 9 May 2003 windstorm in southwestern Slovakia, *Atmospheric Research, Volume 83*, 162–175. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.09.012>.
- Kemény, G.–Varga, T.–Fogarasi, J.–Tóth, K.–Tóth, O., 2012, *Problemkreis und Schadenkalkulation einer Mehrgefahrenversicherung in dem ungarischen Ackerbau. Ökosystemdienstleistungen und Landwirtschaft. Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*, 41–42 (in German).
- Klemp, J.B., 1987, Dynamics of tornadic storms. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 19, 369–402.
- Kolkowska, K.–Lorenc, H., 2012, *Kłęski Zywiolowe a Bezpieczeństwo Wewnętrzne Kraju. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa*, 80–97 Ch. Rzyzyko występowania gradu w Polsce. [in Polish]. URL [klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2013/01/tom3.pdf](http://klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2013/01/tom3.pdf).
- Kunz, M.–Sander, J.–Kottmeier, C., 2009, Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. *Int. J. Climatol.* 29 (15), 2283–2297.
- Lemon, L.R., 1980, Severe thunderstorm radar identification techniques and warning criteria: A preliminary report. *NOAA Tech Memo. NWS NSS FC-1*, 60 pp. [NTIS PB273049].

- Lindloff, V., 2003, Hagel–Jedes Jahr Schäden in Millionen-höhe. Kurier – Das Bayer CropScience Magazin für die moderne Landwirtschaft Heft 2, 18–21 (in German).
- Lišková, M., 2006, Možnosti detekcie krúp pomocou odvodených veličín z meteorologického rádiolokátora. Diplomová práca, Univerzita Komenského, Bratislava.
- Malkarova, A., 2011, Estimation of physical efficiency of hail protection accounting for changes in hail climatology. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 36 (6), 392–398 (Jun).
- Markowski, P.A., 2002a, Hook echoes and rear-flank downdrafts: A review. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 852–876.
- Markowski, P.M.–Dotzek, N., 2011, A numerical study of the effects of orography on supercells. *Atmos. Res.*, 100, 457–478.
- McGinley, J., 1982, A Diagnosis of Alpine Lee Cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1271–1287.
- Moller, A.R.–Doswell III, C.A.– Foster, M.P.–Woodall, G.R., 1994, The operational recognition of supercell thunderstorm environments and storm structures. *Wea. Forecasting*, 9, 327–347.
- Morgan, G.M., 1973, A general description of the hail problem in the Po Valley of northern Italy. *J. Appl. Meteorol.* 12, 338–353.
- Munzar J. a kol., 1989: Malý príručník meteorologiči. Mladá fronta Praha, s. 247.
- Peyraud, L., 2013, Analysis of the 18 July 2005 Tornadic Supercell over the Lake Geneva Region. *Wea. Forecasting*, 28, 1524–1551, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-13-00022.1>.
- Santos, J.A.–Pereira, M.B., 2018, A comprehensive analysis of hail events in Portugal: Climatology and consistency with atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*. 10.1002/joc.5794.
- Stucki, M.–Egli, T., 2007, Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel. Tech. rep. Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen (in German).
- Plieninger, 1856, Neunundzwanzigster und dreissigster Jahresbericht über die Witterungsverhältnisse in Württemberg. Jahrgang 1853 und 1854. Verlag von Ebner und Seubert, Stuttgart, 1856. 404–493.
- Porras, I.–Sairouni, A.–Aran, M., 2013, Climatologia de la probabilitat de calamarsa a Catalunya. [in Catalan]. URL <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/18130754/nota-estudi-climatologia-calamar-sa-n74.pdf>.
- Punge, H.J.–Kunz, M., 2016, Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. *Atmos. Research*, 176–177, 159–184, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.012>.
- Puskeiler, M., 2013, Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland (Ph.D. thesis) Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe Institute of Technology (KIT) [in German]. URL [https://www.imk-tro.kit.edu/download/Dissertation\\_Puskeiler\\_Marc.pdf](https://www.imk-tro.kit.edu/download/Dissertation_Puskeiler_Marc.pdf).
- Púčik, T.–Castellano, C.–Groenemeijer, P.–Kühne, T.–Rädler, A.T.–Antonescu, B.–Faust, E., 2019, Large Hail Incidence and Its Economic and Societal Impacts across Europe. *Mon. Wea. Rev.*, 147, 3901–3916, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0204.1>.
- Púčik, T., 2019, Giant hail in Europe, ESSL, <https://www.essl.org/cms/giant-hail-over-europe/>.
- Rasmussen, E.N.–Blanchard, D.O., 1998, A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 13, 1148–1164.
- Roncali, G., 1955, Sui danni della grandine in Italia. Tech. rep. Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Rome (in Italian).
- Rotunno, R.–Klemp, J.B., 1982, The influence of the shear-induced pressure gradient on thunderstorm motion. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 136–151.
- Rotunno, R.–Klemp, J.B., 1985, On the rotation and propagation of numerically simulated supercell thunderstorms. *J. Atmos. Sci.*, 42, 271–292.
- Seres, A.–Horváth, 2015, Thunderstorm climatology in Hungary using Doppler radar data. *Idojaras* 119 (2), 185–196.
- Schneider, D.G., 2009, The impact of terrain on three cases of tornadogenesis in the Great Tennessee Valley. *Electronic J. Operational Meteorol.*, 10 (11), 1–33.
- Schumann, U., 1987, Influence of mesoscale orography on idealized cold fronts. *Journal of the Atmospheric Sciences* 44: 3423–3441.
- Skok, G.–Rakovec, J.–Strajnar, B.–Bacmeister, J.–Tribbia, J., 2014, Applications of custom developed object based analysis tool: precipitation in Pacific, tropical cyclones precipitation, hail areas. EGU General Assembly Conference Abstracts. of EGU General Assembly Conference Abstracts vol. 16, p. 14293 (May).
- Smith, B.T.–Thompson, R.L.–Grams, J.S.–Broyles, C.–Brooks, H.E., 2012, Convective modes for significant severe thunderstorms in the contiguous United States. Part I: Storm classification and climatology. *Wea. Forecasting*, 27, 1114–1135.
- Svabik, O.–Meyer, V.–Tüchler, L.–Zenkl, G., 2013, Hail risk areas in Austria, on the basis of reports 1971–2011 and weather radar images 2002–2011. 7<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms. Helsinki, Finland, p. 2 URL <http://www.essl.org/ECSS/2013/programme/abstracts/50.pdf>
- SwissRe, 2014, Sigma: Natural- and Man-made Catastrophes 2013. Tech. Rep. Swiss Re Economic Research and Consulting.
- Šinger, M., 2013, Supercely v strednej Európe. Diplomová práca, FMFI, KAFZM UK, Bratislava, 149 str.
- Šinger, M., 2015, Mimoriadne veľké krúpy v okolí Kojšovskej hole 14. júna 2015, aktualita SHMÚ. <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=628>
- Šinger, M., 2017, Supercela 27.8.2017 pri Prešove s krúpami s priemerom až 5 cm!, aktualita SHMÚ. <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=829>
- Šinger, M., 2019, Krúpy v Košiciach 27. júna 2019, aktualita SHMÚ. <https://www.facebook.com/shmu.sk/posts/2868916036515284/>
- Šinger, M., 2018, Tornádo v Lekárovciach 3. októbra 2018. *Meteorologický časopis*, 21/2018, 109–116.
- Vinet, F., 2001, Climatology of hail in France. *Atmos. Res.* 56 (1–4), 309–323.
- Webb, J.–Elsom, D.–Meaden, G., 2009, Severe hailstorms in Britain and Ireland, a climatological survey and hazard assessment. *Atmos. Res.* 93 (1–3), 587–606.
- Zimmerli, P., 2005, Hailstorms in Europe – A New Look at a Familiar Risk, Swiss Re Fokus Report, Zurich.

# INFORMÁCIE INFORMATION

## 65 ROKOV SLOVENSKEHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU

Slovenský hydrometeorologický ústav oslávil v týchto dňoch 65. výročie svojho vzniku. Jeho pracovníci si tento významný medzník pripomenuli spolu so zástupcami Českého hydrometeorologického ústavu. Oslavy sa začali v pondelok, 7. októbra 2019, tlačovou konferenciou a pokračovali poobedňajším slávnostným podujatím, ktoré bolo pripomienkou histórie, súčasnosti a budúcnosti obidvoch inštitúcií. Obidva ústavy si v týchto dňoch spoločne pripomínajú aj 100. výročie vzniku Štátneho ústavu meteorologického, ktorý založili v roku 1919 v Prahe.

„Prvé známe systematické prístrojové, meteorologické merania na území Slovenska pochádzajú z Prešova, v rokoch 1717 – 1726. Robil ich župný lekár Šarišskej župy Ján Adam Rayman. Ako prvý v Rakúsko-Uhorsku pravidelne zaznamenával teplotu vzduchu.“ Týmito slovami začal Martin Benko, generálny riaditeľ SHMÚ, výpočet historických míľnikov slovenskej a českej meteorológie a hydrológie na tlačovej konferencii. Neskôr, v roku 1775, sa začali prvé systematické pozorovania (Praha-Klementinum) a od roku 1784 sa zachoval nepretržitý rad údajov. Na Slovensku s niečím podobným začal František Weiss v Trnave (1755 – 1770) a Ján Genersich v Kežmarku (1789 – 1800).

Z ďalších zaujímavých údajov, ktoré M. Benko spomenul, bolo založenie prvého štátneho meteorologického ústavu na území Rakúsko-Uhorska vo Viedni (1851). Bol to Centrálny ústav pre meteorológiu a geomagnetizmus, ktorého úlohou bolo založenie a prevádzkovanie štátnej meteorologickej siete. Z roku 1860 pochádzajú prvé uverejňované informácie o vodnom stave na Váhu v Trnovci. Na základe rozhodnutia Ministerskej rady z 9. decembra 1919 a Výnosom zo 14. januára 1920, Ministerstvo školstva a národnej osvety Československej republiky schválilo stanovy Československého štátneho ústavu meteorologického. Jeho prvým riaditeľom sa stal Rudolf Schneider (1881 – 1955), ktorý dovtedy pôsobil v Ústrednom ústave vo Viedni.

Na základe zákona č. 295/1939 z 21. septembra 1939 vznikol Štátny hydrologický a meteorologický ústav v Bratislave. V podstate po prvýkrát bola spojená hydrologická a meteorologická služba pod jednu strechu. Vládne nariadenie z 27. 11. 1953 o Hydrometeorologickom ústave, s účinnosťou od 1. 1. 1954, zabezpečilo výkon hydrológie a meteorológie v rámci jednej organizácie, Hydrometeorologický ústav so sídlom v Prahe, ako ústredný ústav pre odbor meteorológie, klimatológie a hydrológie. „Opätovným spojením meteorologickej a hydrologickej služby zaznamenávame aj na Slovensku aj v Čechách moderný rozvoj týchto dvoch vedných disciplín a rozšírenie praktických aplikácií na základe získaných meraní a spracovaní do celého spektra sociálno-ekonomických sektorov,“ dodal M. Benko. Meteorológovia na Slovensku boli už v tom čase úspešnými a uznávanými odborníkmi. Dôkazom je napríklad aj skutočnosť, že dvaja z nich, prof. Mikuláš Konček a Dr. Štefan Petrovič, predpovedali počasie pre nemeckú armádu na dni vpádu do Sovietskeho zväzu (operácia Barbarosa, jún 1941).

Ďalšou témou tlačovej konferencie bolo sucho a zmena klímy. „Fenomén sucha je jedným z prejavov zmeny klímy a jeho dopady pociťujeme všetci. Na ministerstve sme preto spojili odborníkov a pripravil sme dokument H2O dno je voda, ktorý sa zameriava na konkrétne riešenia ako čo najviac zadržať vodu v krajine. Na takéto vodozadržné opatrenia môžu mestá a obce čerpať prostriedky z eurofondov v celkovej hodnote 17 miliónov eur,“ povedal štátny tajomník Ministerstva životného prostredia SR, Norbert Kurilla. Do výzvy sa môžu zapojiť mestá, obce, aj neziskové organizácie. Ministerstvo finančne podporuje projekty budovania dažďových záhrad, zberných jazierok, umelo vytvorených mokradí, vegetačných striech a stien, ale aj zberných systémov na zadržanie zrážkovej vody či zatravnňovacie tvárnice. Celkovo v rámci tejto výzvy ministerstvo dostalo 181 žiadostí, ktoré sú v súčasnosti v rôznom stave posudzovania. Schválených bolo doteraz 24 žiadostí v sume 3,8 mil. eur – ide o EÚ zdroj a štátny rozpočet. Aktuálne prebieha už v poradí 9. Hodnotiace kolo.



Tlačová konferencia – zľava Ivan Garčár, Pavol Faško, Jana Poórová, Martin Benko, Norbert Kurilla, Mark Rieder, Radim Tolasz, Jan Daňhelka.

Podľa slov klimatológa SHMÚ Pavla Faška bola najhoršia situácia koncom apríla 2019, kedy na približne 30 staniciach evidovali, podľa indexu SPEI (štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index), extrémne suchu. Nepriaznivú situáciu klimatológovia zaznamenali aj koncom júna, kedy bolo extrémne suchu na približne polovici územia Slovenska. Bolo to podmienené deficitom zrážok, ktorý trval niekoľko mesiacov, od jesene 2018 približne do polovice jari 2019. Podľa monitoringu pôdneho sucha bolo extrémne suchu na takmer 20 % územia na začiatku júla 2019. Deficit pôdnej vlahy bol v tomto období v niektorých regiónoch na severe Slovenska až do  $-100$  mm. Relatívne nasýtenie pod bodom zníženej dostupnosti bolo na konci júla až na 84 percentách celkovej plochy.

Odborníci sa na stretnutí s novinármi nevyhli ani otázkam meniacej sa klímy a jej dôsledkom. Každý rok pridáme do ovzdušia 37 až 39 miliárd ton oxidu uhličitého. Vedci tvrdia, že ak toto množstvo výrazne nezredukujeme, teplota na zemi sa zvýši o 2 stupne. Príroda však nie je schopná adaptovať sa na takúto zmenu. Výsledkom bude nielen zánik ekosystémov, na ktoré sme boli zvyknutí, dôsledky nás zničia aj ekonomicky. Čo treba urobiť? Ľudia musia prijať aj nepopulárne opatrenia a vlády po celom svete musia znížiť počet emisií vo vzduchu. Niektoré zdroje uvádzajú, že ľudstvo má najviac 12 rokov. Je to interpretácia správy IPCC, ktorú vydali vlni v októbri. Hovorí o tom, ako by mal vyzerat' ďalší vývoj na Zemi do roku 2050, prípadne do roku 2100 vo vývoji emisií. Globálne emisie totiž stále rastú zhruba o 37 až 39 miliárd ton  $\text{CO}_2$  ročne. „Musíme ich výrazne zredukovať, aby sme sa nedostali na spomínané 2-stupňové oteplenie,“ zareagoval klimatológ Jozef Pecho zo SHMÚ, na informácie zo správy IPCC (Medzivládny panel na zmenu klímy). Práve medzivládny panel spomenul aj Radim Tolasz z ČHMÚ. „IPCC vydala prvú správu o dopadoch zmeny klímy už koncom 80. rokov minulého storočia. Nikto ju vtedy nebral vážne. Dnes, po tridsiatich rokoch, sa táto téma stáva naozaj vážnou a vyžaduje si rázne opatrenia. To nie je 'alarmizmus ani aktivizmus'. To je realita,“ dodal R. Tolasz.

Jana Poórová, riaditeľka úseku Hydrologická služba SHMÚ, zhodnotila hydrologické suchu za uplynulé obdobie. „Z doterajšieho hodnotenia podzemnej vody od začiatku roka do konca leta môžeme skonštatovať, že tento kalendárny rok ako aj minulý rok 2018 je zatiaľ hodnotený

ako podpriemerný rok. V rámci hodnotenia jednotlivých mesiacoch január až august 2019 iba mesiac jún patrí k priemerným mesiacom, a to v dôsledku intenzívneho zrážkového úhrnu v druhej polovici mesiaca máj.“ Druhým mesiacom, ktorý je hodnotený ako priemerný až mierne podpriemerný patrí február. Ostatné mesiace sú hodnotené ako podpriemerné mesiace, v ktorých dochádza k poklesu hladín podzemnej vody a výdatností prameňov. Najsuchším mesiacom v tomto hodnotenom období je apríl 2019.

Hodnoty priemerných denných prietokov sa najmä v oblasti južného Slovenska začiatkom roka 2019 pohybovali pod 20% dlhodobých mesačných hodnôt. V priebehu februára

sa pomerne rýchlo roztopila snehová pokrývka v nižších polohách a hodnota vodnosti dosahovala približne 20% až 60% dlhodobej februárovej hodnoty, v severnej časti územia hodnoty 60% až 200%. V marci na východoslovenskej nížine a v oblasti južného Slovenska vodnosť na tokoch alarmujúco klesla pod 40% príslušného  $Q_{ma1961-2000}$ . Uvedená situácia pokračovala aj v apríli, kedy sa výrazne podnormálne hodnoty vyskytovali takmer na celom území Slovenska, s výnimkou vysokých horských polôh tokov Vysokých Tatier. Napriek miernemu zlepšeniu hydrologickej situácie v máji, ktorý bol vodnosťou normálny až mierne nadnormálny takmer vo všetkých povodiach, v ďalších mesiacoch vodnosť opäť začala postupne klesať. Leto 2019 bolo preto aj v dôsledku ďalšieho nedostatku zrážok z pohľadu vodnosti podpriemerné. Hydrologické suchu (pod 40% príslušných dlhodobých mesačných prietokov) významne postihlo veľkú časť Slovenska a nepriaznivá situácia v povodiach pokračovala aj septembri. Hoci sme zatiaľ nezaznamenali podkročenie historických minim, výnimočne v hydrologickej situácii roka 2019 je to, že sme v niektorých vodomerných staniciach zaznamenali dlhodobé výskyty malých prietokov, a to až pod  $Q_{355d}$  nielen v letných mesiacoch, ale aj v apríli, t.j. v mesiaci, ktorý je z dlhodobého pohľadu mesiacom s typicky zvýšeným odtokom.

Najviac postihnuté suchom sú južné oblasti Slovenska, ktoré sú dlhodobo suché a citlivo reagujú na zrážky. Avšak suchu sa tento rok objavilo aj v severných oblastiach. „Suché roky sa nám po roku 2000 objavujú čoraz častejšie. Častejšie sa vyskytuje malá vodnosť, čo znamená, že vody je výrazne menej, ako je jej priemer v danom období, a tak sa nám znásobuje počet suchých období. Vodné zásoby sa tvoria najmä z jarného odtoku, zo snehu, kedy voda pomaly klesá do podzemia. Keď tento odtok chýba, pretože dochádza k prudkému januárovému alebo februárovému otepleniu a výparu, voda nestihne vsiaknuť do podzemia, čím klesajú aj zásoby podzemnej vody,“ poznamenala na stretnutí s novinármi J. Poórová.

Slávnostné podujatie pripravili pracovníci SHMÚ spolu s pracovníkmi Českého hydrometeorologického ústavu. Primárnym dôvodom spojenia sa v dňoch osláv bola nielen spoločná história, ale tiež spoločná súčasnosť a budúcnosť. „Naše inštitúcie majú rovnakú štruktúru, zameranie, ciele, a v mnohých aktivitách aj spoločnú budúcnosť.“



*nost'. Medzinárodná spolupráca v rámci európskych inštitúcií a projektov funguje výborne, spomeniem napríklad vývoj a prevádzku modelu Aladin, a v neposlednom rade aj skutočnosť, že si rozumieme, keď spolu hovoríme každým rodným jazykom. To všetko je predpoklad dobrej spolupráce, ktorá medzi SHMÚ a ČHMÚ funguje výborne,“ povedal Mark Rieder, riaditeľ ČHMÚ.*

Na slávnostnom podujatí odznela prezentácia najdôležitejších období, ktoré tvoria históriu meteorológov, hydrológov a klimatológov oboch krajín. Stretnutie bolo zároveň aj možnosťou oceniť inštitúcie aj jednotlivcov za spoluprácu, bez ktorej SHMÚ nedokázalo plniť svoje poslanie. Generálny riaditeľ Martin Benko odovzdal zástupcom spolupracujúcich inštitúcií pamätný dar, fotografiu Tomáša Hulíka, a to Výskumnému ústavu vodného hospodárstva, Ústavu hydrológie Slovenskej akadémie vied, Štátnemu geologickému ústavu Dionýza Štúra, štátnemu podniku Vodohospodárska výstavba, Slovenskej agentúre životného prostredia, Dopravnému úradu a Sekcii krízového riadenia Ministerstva vnútra Slovenskej republiky. Ďalšie ocenenia, ďakovný list, striebornú a bronzovú medailu za zásluhy o rozvoj meteorológie a hydrológie odovzdal mnohým bývalým a súčasným kolegom, dobrovoľným pozorovateľom, spolupracujúcim odborníkom.

Zlatú medailu SHMÚ udelilo Katedre vodného hospodárstva krajiny Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Ústav ocenil dlhodobú úzku, odbornú spoluprácu. Táto výchovno-vzdelávacia inštitúcia, spoločne s SHMÚ, rieši úlohy a projekty na národnej, ale aj medzinárodnej

úrovni. Napríklad, v rámci projektu Tisza v prístupovom období SR do Európskej únie alebo v národnom projekte Aplikovaný výskum metód pre určenie klimatických a hydrologických návrhových veličín. Katedra sa významnou mierou podieľa na tvorbe a implementácii nových metodík v oblasti hydrológie, klimatológie, vodného hospodárstva a ďalších vedných disciplín, ktoré sú nevyhnutné pre plnenie úloh SHMÚ. SHMÚ využíva nielen základné výsledky práce katedry, ale aj iné „produkty“. Mnohí absolventi katedry sú dnes zamestnancami ústavu. Cenu prevzala profesorka Silvia Kohnová, vedúca katedry.

Slávnostné podujatie graficky a pútavo dotvorili fotografie a „časozberné“ videá Tomáša Hulíka a o kultúrny program sa postarala dvojica Peter Lipa so synom Petrom. Vo všetkých prezentáciách dominoval slogan KAŽDÝ DEŇ S VAMI. Ide o nadčasové heslo, ktorého úlohou je vyjadriť, resp. identifikovať ciele a produkty SHMÚ, ktoré táto inštitúcia denne ponúka klientom a laickej verejnosti. A to nielen model Aladin ako najpopulárnejší produkt na webovej stránke SHMÚ, ale aj výsledky monitoringu zo štátnej hydrologickej a meteorologickej siete alebo monitoringu kvality ovzdušia a sucha. To všetko zaujíma veľké množstvo ľudí. Webová stránka ústavu [www.shmu.sk](http://www.shmu.sk) sa tak pravidelne radí medzi desať najnavštevovanejších na Slovensku. Mesačne ju navštívi v priemere viac ako 1,2 milióna návštevníkov. Zaželajme SHMÚ mnoho ďalších rokov vyjadrených záujmom spokojných klientov a užívateľov.

*Ivan Garčár, hovorca SHMÚ*

*Generálny riaditeľ SHMÚ Martin Benko spolu s riaditeľom ČHMÚ Markom Riederom*



*RNDr. Ján Kaňák preberá bronzovú medailu za zásluhy o rozvoj družicovej meteorológie*

*RNDr. Paulína Valová preberá Ďakovný list za aktívny prínos v Slovenskej meteorologickej spoločnosti a za dlhoročnú prácu meteorologičky SHMÚ*



*Zľava*

*Martin Lakanda, generálny riaditeľ ŠOP, Róbert Ružička, generálny riaditeľ SIŽP, Norbert Kurilla, štátny tajomník MŽP SR, Ľubica Kopčová, generálna riaditeľka VÚVH, Martin Benko, generálny riaditeľ SHMÚ, Richard Muller, generálny riaditeľ SAŽP, Vladimír Novák, gen. riaditeľ sekcie vód MŽP SR, Pavel Virág, tech.-prevádzkový riaditeľ SVP, š.p.*

## DVA POZORUHODNÉ PRÍPADY VÝSKYTU STRATOSFÉRICKÝCH AEROSÓLOV NAD SLOVENSKOM

Lidar na pracovisku Aerologického a radiačného centra SHMÚ v Gánovciach pri Poprade pravidelne zaznamenáva aerosóly v troposfére. V dlhodobom priemere sa väčšina z nich nachádza v hraničnej vrstve atmosféry. Výskyt významnejšieho množstva aerosólov vo voľnej troposfére je už vzácnejší jav. V danom prípade je už potrebný výraznejší zdroj aerosólov a aj vhodné poveternostné podmienky, ktoré zabezpečia, že sa aerosóly môžu dostať aj do väčšej výšky. Zdrojom takýchto aerosólov môže byť napríklad väčší lesný požiar [1] alebo často aj suchá prашná krajina, v prípadoch zaznamenaných na Slovensku je ňou viackrát (rádovo desiatky dní) v roku Saharská púšť [2]. Situácia, keď sa môže dostať väčšie množstvo aerosólov až nad tropopauzu, teda do stratosféry, nastáva aj z globálneho pohľadu relatívne veľmi zriedkavo. Od roku 2015, odkedy je lidar v štandardnej prevádzke, sa nám takéto aerosóly podarilo zaznamenať iba v dvoch prípadoch. Prvý prípad nastal v roku 2017 a išlo tu o dym pochádzajúci z rozsiahlych lesných požiarov v Kanade [3]. Druhý prípad nastal v roku 2019, a tentokrát sme detegovali aerosólové častice (kvapôčky kyseliny sírovej) pochádzajúce z erupcie sopky Raikoke, ktorá sa nachádza v oblasti Kurilských ostrovov [4].

### Bezprecedentné dôsledky lesných požiarov v Kanade

Kombinácia rekordnej aktivity lesných požiarov v kanadskej provincii Britská Kolumbia v lete 2017 a priaznivých poveternostných podmienok popoludní dňa 12. augusta 2017 vyvolala nad západnou Kanadou vývoj piatich veľkých búrok [5]. Pyrocumulonimby (pyroCb) vzniknuté nad požiarnymi oblasťami boli mimoriadne silné a dobre organizované. Vďaka tomu dokázali vyzdvihnúť obrovské množstvo dymu do oblasti hornej troposféry a spodnej stratosféry (upper troposphere and lower stratosphere - UTLS).

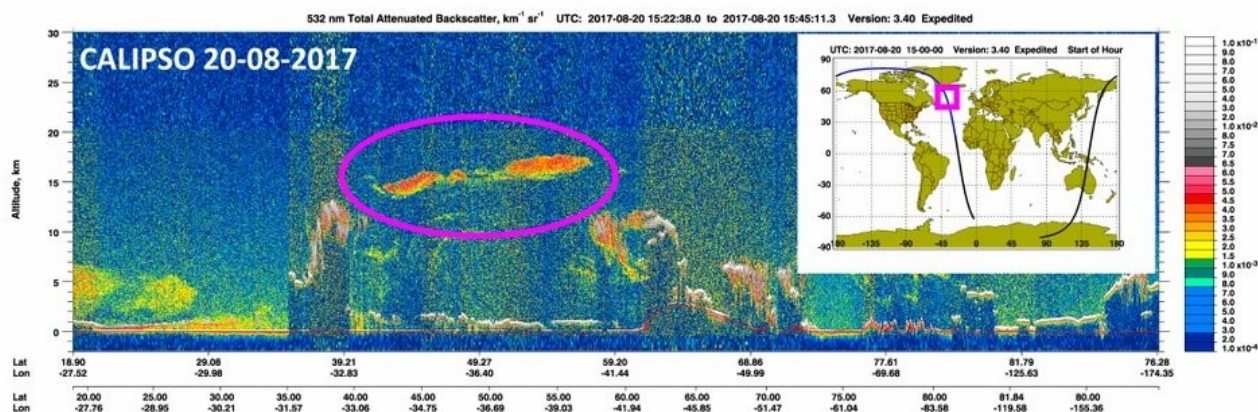
Transport dymu od zemského povrchu až po úroveň tropopauzy trvá vo vnútri pyroCb zvyčajne menej ako jednu hodinu. Mnoho dymových častíc, ktoré sa dostali do

oblaku malo potenciál slúžiť ako oblačné kondenzačné jadrá alebo ľadové jadrá, avšak celkové množstvo častíc bolo také veľké, že väčšina z nich bola vyzdvihnutá ako *interstitiálny* aerosól (častice príliš malé na to, aby mohli aktivovať vznik oblačných kvapiek) do oblasti UTLS. Pozorovania lidarov pracujúcich s viacerými vlnovými dĺžkami a polarizáciou naznačujú, že častice evidentne dosiahli stratosféru ako čisté sadze, a to bez akejkoľvek významnejšej interakcie s plynnými zložkami [7]. Mechanizmy samozdvihu následne iniciovali ďalší významný výstup vrstiev v ktorých sa nachádzali sadze. Optická hrúbka aerosólov v oblasti UTLS dosahovala na vlnovej dĺžke 500 nm hodnotu až okolo 2,5, a preto dochádzalo k silnej absorpcii slnečného žiarenia a následnému ohrevu dymových vrstiev, čo viedlo k ich postupnému stúpaniu. Prostredníctvom lidar, umiestnenom na satelite CALIPSO, bol v prvých dňoch po udalosti pozorovaný ich výstup približne o 2–3 km za deň.

Peterson et al. (2018) [7] skúmal celkovú závažnosť danej stratosférickej perturbácie a dospel k záveru, že je porovnateľná s miernou sopečnou erupciou, charakterizovanou indexom sopečnej výbušnosti (Volcanic Explosivity Index - VEI) s hodnotou 3–4. Udalosť, ktorá sa odohrala 12. augusta 2017, injektovala do stratosféry aerosólové častice s celkovou hmotnosťou 0,1–0,3 miliónov ton. Je dôležité si uvedomiť, že čisto hmotnostné porovnanie diskutovanej stratosférickej perturbácie so sopečnými erupciami neposkytuje primeraný opis, pokiaľ ide o jej vplyv na atmosférické procesy. Sopečné a dymové častice totiž vykazujú dosť odlišné chemické, fyzikálne a morfológické vlastnosti. V prípade sopečných erupcií v stratosfére dlhodobo zotrvávajú najmä kvapalné, sférické a slnečné žiarenie menej absorbujúce kvapôčky kyseliny sírovej. Sadze, pochádzajúce z požiarov, sú naproti tomu pevné, nesférické a významne absorbujú slnečné žiarenie.

Potom ako sa dym dostal 12. augusta do stratosféry bol následne dýzovým prúdením hnaný smerom na východ. Na obrázku 1 si môžeme všimnúť, že dňa 20. augusta bol pozorovaný v oblasti južne od Grónska. Nad kontinentálnou Európou bol stratosférický dym pochádzajúci z lesných požiarov v Kanade prvýkrát zaznamenaný 21. augusta.

Obrázok 1. Vertikálny profil aerosólov zo satelitu CALIPSO – prípad južne od Grónska, zdroj: NASA [13].



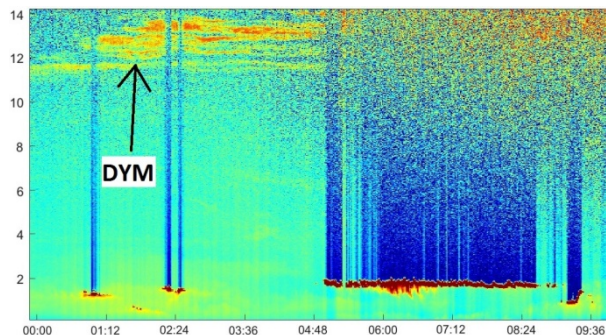


Nasledujúci deň 22. augusta boli v spodnej stratosfére nad Nemeckom detegované 20 krát vyššie hodnoty koeficienta útlmu v porovnaní s tými, ktoré boli nad Európou zaznamenané v čase maximálneho stratosférického pôsobenia aerosólov pochádzajúcich z výbuchu sopky Mt. Pinatubo v roku 1991. O deň neskôr, 23. augusta, boli významné množstvá stratosférického dymu zaznamenané aj pomocou lidar, ktorý sa nachádza na pracovisku SHMÚ v Gánovciach. Obrázok 2 jasne dokumentuje väčšie množstvo dymových častíc v prvej štvrtine daného dňa vo výškach okolo 12 až 14 km nad morom. Tropopauza sa okolo polnoci (v čase UTC), z 22. na 23. augusta, nachádzala v nadmorskej výške 10,6 km a o 12 hodín neskôr vo výške 9,7 km. Išlo o výnimočnú situáciu, pretože dym bol evidentne detegovaný nad tropopauzou, teda v spodnej stratosfére. Prostredníctvom vygenerovanej spätnej trajektórie, ktorá sa nachádza na obrázku 3 sme sa presvedčili, že vzduchová hmota spoločne s časticami sadzí má svoj pôvod nad Kanadou. Transport dymu až nad naše územie v tomto prípade trval približne 10 dní.

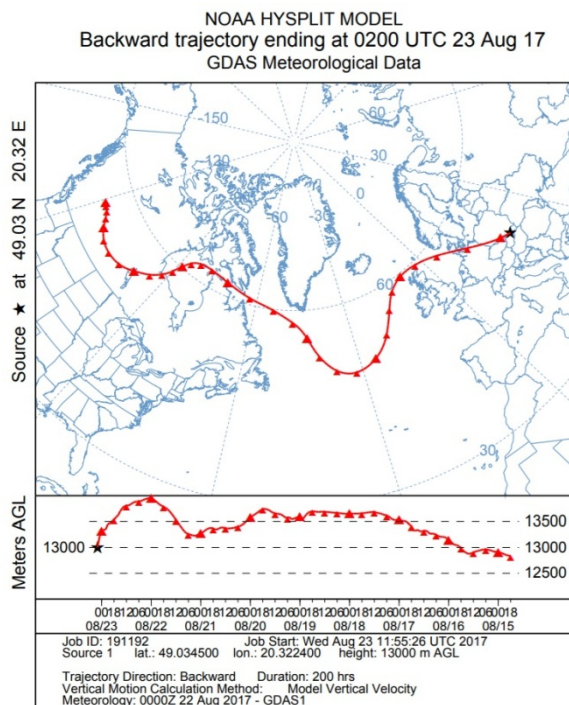
V nasledujúcich týždňoch sa vďaka prevládajúcemu západnému prúdeniu dym postupne šírila po celej severnej pologuli. Neskôr sa dym prostredníctvom prúdenia spôsobeného ázijským zimným anticyklonálnym monzúnom dostal až do tropických oblastí. Časť aerosólov vystúpila až do nadmorskej výšky 20–25 km a obohatila tak prírodný rezervoár sadzí, ktorý sa nachádza vo výškach 20–30 km. Silná stratosférická kontaminácia dymom sa od septembra 2017 do júna 2018 pomaly zmenšovala. Častice dymu, ktoré sa dostali do stratosféry rádovo mesiace ovplyvňovali radiačný prenos, chemické procesy a pravdepodobne aj vývoj oblačnosti druhu cirrus v hornej troposfére a to prostredníctvom ich postupného gravitačného sedimentovania, prípadne iných procesov spôsobujúcich ich prenos do nižších vrstiev atmosféry.

Táto historicky bezprecedentná udalosť silného a dlhotrvajúceho výskytu častíc dymu v stratosfére sa prostredníctvom pozemných lidarov pozorovala v rámci celej Európy. Vrstvy dymu boli dobre pozorovateľné dokonca aj šesť mesiacov po tom, čo sa dostali do stratosféry. Ich optická hrúbka nad Európou na vlnovej dĺžke 532 nm postupne klesala z hodnôt  $> 0,25$  (21.–23. augusta 2017) na 0,005–0,03 (5.–10. september 2017) a neskôr na 0,003–0,004 (október–december 2017), čo bolo stále výrazne nad úrovňou, ktorá prislúcha stratosférickému pozadiu (0,001–0,002). Je dôležité tiež poznamenať, že prvé pozorovania výskytu dymu v stratosfére sa v rámci siete lidarov uskutočnili v roku 2001. Dym mal svoj pôvod taktiež v kanadských lesných požiaroch, bol zaznamenaný aj nad Európou, a v rámci stratosféry severnej pologule pretrvával v nezanedbateľných množstvách prinajmenšom 3 mesiace. Jeden z najdlhších radov stratosférických pozorovaní aerosólov pomocou lidar na svete má nemecká stanica Garmisch-Partenkirchen, ktorá ich vykonáva už od roku 1976. Tento približne 40 ročný rad dokumentuje najväčšie (El Chichon, Pinatubo) a tiež aj početné mierne sopečné erupcie. Vďaka dĺžke tohto radu preto môžeme tvrdiť, že dlhotrvajúci a rozsiahly výskyt dymu v stratosfére v rokoch 2017 a 2018 nemá obdobu minimálne za posledných približne 40 rokov.

**Obrázok 2.** Vertikálny profil aerosólov nad Gánovcami dňa 23.8.2017, horizontálna os reprezentuje čas (UTC) a vertikálna os vzdialenosť od zemského povrchu (km), nadmorská výška terénu je 706 m n. m., zdroj: SHMÚ.



**Obrázok 3.** Spätňá trajektória prúdenia vzduchu pre Gánovce začínajúca vo výške 13 km nad terénom v čase 02:00 UTC 23. augusta 2017, zdroj: NOAA.



## Aerosóly pochádzajúce z erupcie sopky Raikoke

Raikoke (v preklade „Brána do pekla“) je približne pol kilometra vysoký sopečný ostrov a je súčasťou reťaze Kurilského súostrovia. Predposledný výbuch sopky s rovnakým názvom ako je názov ostrova, sa vyskytol už pred takmer sto rokmi v roku 1924. Nedávny posledný výbuch sa odohral v dňoch 21. a 22. júna 2019 a hlavná fáza erupcie trvala približne 12 hodín. Na obrázku 4 si môžeme všimnúť fotografiu výbuchu, ktorá bola zhotovená z Medzinárodnej vesmírnej stanice ISS.

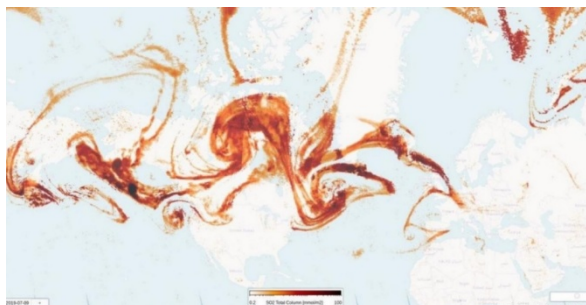
Sopečný popol a plyny sa počas erupcie dostali pravdepodobne až do výšky 17 km. V tom čase bola tropopauza nad danou oblasťou vo výške asi 11 km a teda veľké množstvo popola a plynov sa dostalo až do stratosféry. Zo sopečných plynov je veľmi dôležitý najmä oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ).

Podľa odhadov ho sopka Raikoke vychrlila v množstve cca 1,35 mil. ton. Tento plyn sa postupne rozptyľoval po severnej pologuli (Obr. 5) a zároveň dochádzalo k jeho chemickej transformácii na kyselinu sírovú ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). To, že sa oxid siričitý dostal až do stratosféry, nie je nič mimoriadne. Stalo sa to napríklad aj minulý rok počas výbuchu sopky Manaro Voui, avšak počas jej hlavnej erupcie sa ho do atmosféry uvoľnilo len 0,4 mil. ton. Ak sa pozrieme viac rokov dozadu, tak výbuch sopky Raikoke prekonáva z tohto pohľadu až erupcia sopky Nabro v roku 2011. Ide teda o najvýznamnejšiu erupciu (z pohľadu emitovaného  $\text{SO}_2$ ) za posledných 8 rokov.

**Obrázok 4.** Fotografia erupcie sopky Raikoke z Medzinárodnej vesmírnej stanice ISS, 22. jún 2019, zdroj: NASA Earth Observatory [9].



**Obrázok 5.** Celkové množstvo oxidu siričitého dňa 9. júla 2019, zdroj: KNMI/BIRA/DLR/ESA [10].



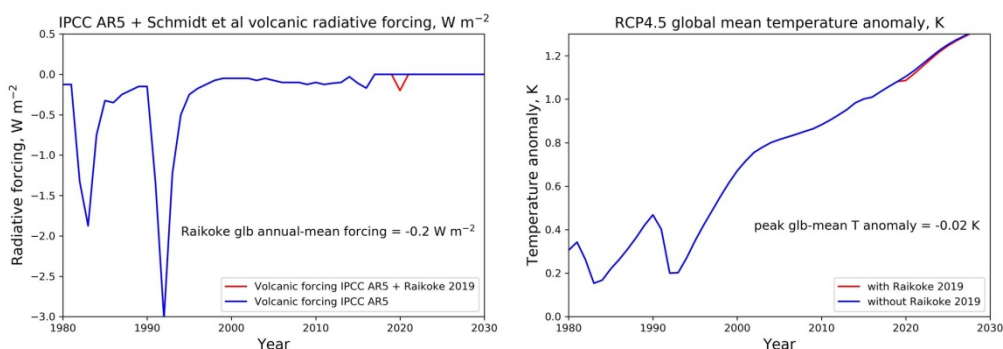
Ak sa oxid siričitý dostane až do stratosféry, tak následne vzniknutá kyselina sírová zotrúva v podobe drobných kvapôčok v tejto vrstve atmosféry niekoľko mesiacov až rokov. V stratosfére zotrúvajú relatívne dlho

z dvoch hlavných príčin. Po prvé, je to kvôli tomu, že v tejto vrstve atmosféry už neprebíha mokrú depozícia (vymývanie aerosólov dažďom, resp. snehom). Po druhé, suchá depozícia (gravitačná sedimentácia) je výrazne tlmená sférickým tvarom kvapôčok  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a najmä ich miniatúrnou veľkosťou, ktorá sa v prípade ich priemeru pohybuje od 0,1 do 1  $\mu\text{m}$  a teda zaraďujeme ich rovnako ako dym medzi jemné aerosóly. Čiastočky sopečného popola sú naopak nesférické a oveľa väčšie. Ich priemer sa pohybuje najčastejšie od 5 do 500  $\mu\text{m}$  a zaraďujeme ich rovnako ako prach z púšti medzi hrubé aerosóly. Vďaka veľkým rozmerom a nesférickému tvaru preto opúšťajú stratosféru prostredníctvom suchej depozície výrazne rýchlejšie ako kvapôčky kyseliny sírovej. Drobné aerosóly  $\text{H}_2\text{SO}_4$  teda zabraňujú prenikaniu slnečného žiarenia na zemský povrch oveľa dlhšie ako čiastočky sopečného popola.

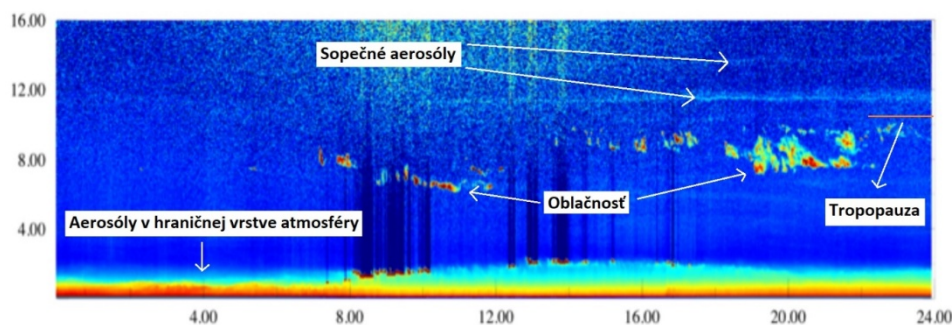
Menej slnečnej energie má za následok zníženie teploty vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry. Vedci z University of Cambridge (UK) spočítali, že vplyv výbuchu Raikoke môže krátkodobo (asi jeden mesiac) znížiť globálnu priemernú teplotu maximálne o cca 0,02  $^{\circ}\text{C}$  (Obr. 6), čo môžeme hodnotiť ako málo významný vplyv. Posledný významný vplyv na globálnu teplotu mal výbuch sopky Pinatubo v roku 1991, ktorý do stratosféry uvoľnil asi 15 mil. ton oxidu siričitého, čo je približne 11 krát viac ako nedávny výbuch sopky Raikoke. Popol a plyny sa dostali až do výšky 35 km a ich ochladzujúci vplyv na globálnu teplotu dosiahol približne 0,3  $^{\circ}\text{C}$  po dobu niekoľkých mesiacov (Obr. 6). Išlo teda o viac ako 10 násobné výraznejší a tiež aj časovo dlhodobejší vplyv v porovnaní s erupciou sopky Raikoke.

Sopečné aerosóly (prevažne drobné kvapôčky kyseliny sírovej) pochádzajúce z výbuchu sopky Raikoke sme v Aerologickom a radiačnom centre Poprad-Gánovce pomocou lidar prvékrát zaznamenali 27. júna 2019, teda šesť dní po výbuchu. Posledný krát sa nám ich podarilo zreteľne zaznamenať 2. augusta 2019. Nad Francúzskom sa pomocou pozemných meraní podarilo vrstvy aerosólov v stratosfére ešte aj dňa 31. augusta 2019. Sopečné aerosóly sa nad Gánovcami nachádzali väčšinou v hornej troposfére alebo v spodnej stratosfére vo výške okolo 10 – 16 km nad morom. Na obrázku 7 môžeme vidieť dve stratosférické vrstvy zaznamenané nad Gánovcami dňa 17. júla 2019. Prvú, výraznejšiu vo výške okolo 12 km nad morom a druhú, menej výraznú vo výške okolo 14 km nad morom. Prítomnosť aerosólov v spodnej stratosfére bola tiež zistená aj pomocou meraní lidar umiestnenom na satelite CALIPSO (Obr. 8).

**Obrázok 6.** Vplyv výbuchu sopky Raikoke (červená farba) na radiačné pôsobenie (vľavo) a priemernú globálnu teplotu (vpravo), zdroj: A. Schmidt [15].

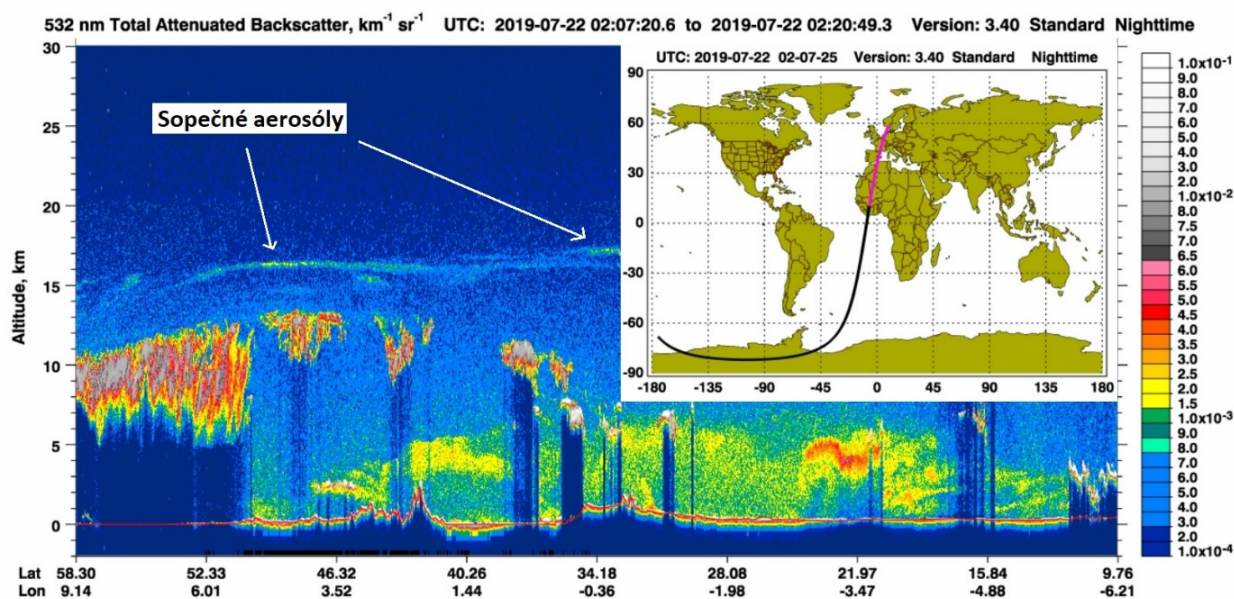






Obrázok 7. Vertikálny profil aerosólov na stanici Poprad-Gánovce dňa 17. júla 2019, horizontálna os reprezentuje čas (UTC) a vertikálna os vzdialenosť od zemského povrchu (km), nadmorská výška terénu je 706 m n. m., zdroj: LOA/LILLE [14].

Obrázok 8. Vertikálny profil aerosólov nad vybranou oblasťou Európy a Afriky dňa 22. júla 2019 získaný pomocou lidar umiestnenom na satelite CALIPSO, zdroj: NASA [13].



## Použité informačné zdroje

- [1] Hrabčák, P., Dym z Kanady nad Slovenskom, Slovenský hydrometeorologický ústav [online], [cit. 2019-10-10], Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=714>.
- [2] Hrabčák, P., 2016, Saharský prach nad Slovenskom, Meteorologický časopis, ročník 19, číslo 2, 83–91, ISSN 1335-339X, 2016.
- [3] Hrabčák, P., Dym z kanadských požiarov aj nad Slovenskom, Slovenský hydrometeorologický ústav [online], [cit. 2019-10-10], Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=856>
- [4] Hrabčák, P., Výbuch sopky Raikoke zanechal svoje stopy aj nad Slovenskom, Slovenský hydrometeorologický ústav [online], [cit. 2019-10-10], Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1008>
- [5] Peterson, D.A.–Campbell, J.R.–Hyer, E.J.–Fromm, M.D.–Kablick III, G.P.–Cossuth, J.H.–DeLand, M.T., 2018, Wildfire-driven thunderstorms cause a volcano-like stratospheric injection of smoke, npj Climate and Atmospheric Science, 1, article number 30, <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0039-3>.
- [6] Baars et al., 2019, The unprecedented 2017–2018 stratospheric smoke event: Decay phase and aerosol properties observed with EARLINET, Atmos. Chem. Phys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/acp-2019-615>, in review.
- [7] Hu, Q. et al., 2019, Long-range-transported Canadian smoke plumes in the lower stratosphere over northern France, Atmos. Chem. Phys., 19, 1173–1193, <https://doi.org/10.5194/acp-19-1173-2019>.
- [8] [https://earth.esa.int/web/sentinel/news/-/asset\\_publisher/xR9e/content/id/3871553](https://earth.esa.int/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/id/3871553)
- [9] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145226/raikoke-erupts>
- [10] <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/vulkaan-raikoke-de-poort-naar-de-hel>
- [11] <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/2018-s-biggest-volcanic-eruption-of-sulfur-dioxide>
- [12] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/1510/global-effects-of-mount-pinatubo>
- [13] [https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/production/](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/production/)
- [14] [https://loa-ptfi.univ-lille1.fr/lidar/calendars/cal\\_2019\\_ganovce.php](https://loa-ptfi.univ-lille1.fr/lidar/calendars/cal_2019_ganovce.php)
- [15] Twitter: #Raikoke: Dr. Anja Schmidt (@volcanofile)

Peter Hrabčák, SHMÚ Gánovce



## SPRÁVA WMO O STAVE GLOBÁLNEJ KLÍMY V OBDOBÍ 2015 – 2019

V súvislosti s klimatickým summitom (Climate Action Summit 2019), ktorý sa konal na pôde Organizácie spojených národov (OSN) v New Yorku dňa 23. septembra 2019, popredné meteorologické organizácie (napr. IPCC, WMO, UNEP alebo GCP) zverejnili zhrňujúcu správu o aktuálnom stave globálneho klimatického systému, vývoji globálnych emisií a koncentracii skleníkových plynov, ako aj stave riešenia a plnenia emisných záväzkov jednotlivých krajín a regiónov, pričom poukázali na narastajúci rozdiel medzi dohodnutými cieľmi z Paríža (2015; tie by v ideálnom prípade mohli pomôcť spomaliť prebiehajúcu zmenu klímy) a ich reálnym doterajším plnením. Správa OSN tiež uvádza, že v období rokov 2015–2019 sa podľa ukazovateľov ako sú vzostup hladiny oceánov, topenie ľadovcov a extrémna počasia, zvýraznili dopady prebiehajúcej zmeny klímy na celej Zemi. Obdobie rokov 2015–2019 bude podľa Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) rekordne najteplejším päťročným obdobím zaznamenaným v histórii meteorologických meraní a pozorovaní. Na rekordnú úroveň sa zvýšili aj koncentrácie hlavných skleníkových plynov v atmosfére, čím sa podľa OSN pravdepodobne posilní trend otepľovania atmosféry a oceánov aj v ďalších desaťročiach tohto storočia.

Správa (United in Science) obsahuje podľa slov Generálneho tajomníka OSN, Antónia Guterresa, aktuálne vedecké zistenia a informácie o kritickom stave klimatického systému a stave riešenia súčasnej „klimatickej krízy“. Správa poukazuje na to, ako sa súčasná zmena klímy prejavuje a ešte len bude prejavovať prostredníctvom ďalekosiahlych a veľmi vážnych dopadov na ľudskú spoločnosť a prírodné ekosystémy a spoločenstvá. Správa ďalej zdôrazňuje potrebu zásadnej sociálno-ekonomickej transformácie v kľúčových hospodárskych odvetviach, akými sú napríklad využívanie pôdy a energetika, s cieľom zabrániť nebezpečnému nárastu globálnej teploty, ktorý by mohol mať potenciálne nezvratné konzekvencie pre celú planétu. Správa OSN tiež prináša prehľadnú syntézu dnes už dostupných možností, ako kritickému otepleniu o 1,5 °C (prípadne 2,0 °C) do konca tohto storočia zabrániť (mitigácia) alebo minimálne zmierniť jeho následky prostredníctvom adaptačných opatrení.

„Príčiny ako aj dopady zmeny klímy sa skôr zväčšujú ako znižujú ako spomaľujú. Je veľmi dôležité, aby sme znížili emisie skleníkových plynov, najmä z výroby energie, priemyslu a dopravy. Je to rozhodujúce, ak chceme zmierniť zmenu klímy a splniť ciele stanovené v Parížskej dohode,“ uviedol generálny tajomník WMO, Petteri Taalas.

### Najteplejšie päťročné obdobie v histórii

Priemerná globálna teplota za obdobie rokov 2015–2019 bude pravdepodobne historicky najvyššia v období moderných meteorologických meraní a pozorovaní. Správa uvádza, že v porovnaní s predindustriálnym obdobím, globálny priemer teploty povrchu pevnín a oceánov je dnes vyšší o 1,1 °C ( $\pm 0,1$  °C), a o 0,2 °C vyšší ako v období 2011–2015. Plošne rozsiahle a dlhotrvajúce vlny horúčav v mnohých oblastiach sveta, požiare a ďalšie ničivé feno-

mény, akými sú tropické cyklóny, povodne a sucho, mali v uvedenom období zásadný vplyv na sociálno-ekonomický rozvoj a životné prostredie. V období rokov 1979–2018 sa rozsah arktického morského ľadovania na konci leta (severnej pologule) znižoval rýchlosťou približne 12 % za desaťročie. Štyri najnižšie hodnoty tohto indikátora, ale pre zimné obdobie, sa vyskytli práve v období rokov 2015 a 2019. Viacročný ľad v Arktíde takmer zmizol. Ročný úbytok ľadu z kontinentálneho ľadovania v Antarktíde sa zvýšil najmenej šesťkrát, a to zo 40 miliárd ton/rok v rokoch 1979–1990 na 252 miliárd ton/rok v rokoch 2009–2017.

Priemerná rýchlosť nárastu hladiny svetových morí a oceánov sa medzi obdobiami 1997–2006 a 2007–2016 zvýšila z 3,04 milimetra za rok (mm/rok) na približne 4 mm/rok. Počas päťročného obdobia, od mája 2014 do mája 2019 sa miera priemerného globálneho rastu hladiny oceánov zvýšila dokonca až na 5 mm/rok. Dôvodom je predovšetkým rýchlejšie otepľovanie povrchových vrstiev oceánov (a následne aj väčšia tepelná rozťažnosť morskej vody) a rýchlejšie topenia sa ľadovcov v Grónsku a v Západnej Antarktíde.

Viac ako 90 % tepla generovaného globálnym otepľovaním sa ukladá do oceánov. V roku 2018 boli zaznamenané najvyššie hodnoty celkového tepelného obsahu oceánov (OHC) namerané v povrchových 700 metrov, pričom rok 2017 bol na druhom mieste a 2015 na treťom mieste.

Vlny horúčav predstavovali v období rokov 2015–2019 najväčšie meteorologické riziko. Svojimi dopadmi ovplyvnili všetky kontinenty a viedli k dosiahnutiu nových teplotných rekordov. Vlny horúčav a následné periódy sucha viedli k značným stratám na životoch, intenzifikácii lesných požiarov, ako aj k stratám na úrode. Najväčšie ekonomické straty boli však spojené s tropickými cyklónami. Sezóna hurikánov v Atlantiku bola v roku 2017 jednou z najničivejších v histórii. Straty spojené len s hurikánom Harvey dosiahli viac ako 125 miliárd USD. V lete 2019 došlo v arktickej oblasti k požiarom, ktoré len počas mesiaca jún do atmosféry emitovali 50 miliónov ton oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). K rozsiahlym požiarom došlo v priebehu tohto roka aj v oblasti tropických dažďových pralesov v južnej Ázii, Afrike a Amazónii. Podľa bulletinu Americkej meteorologickej spoločnosti, až 62 zo 77 hlásených extrémnych udalostí vykazuje v období rokov 2015 až 2017 významný antropogénny vplyv (vyššia pravdepodobnosť výskytu daného extrému v dôsledku zmeny klímy), vrátane takmer každej analyzovanej vlny horúčav.

### Rekordne vysoké koncentrácie skleníkových plynov

Atmosférické koncentrácie hlavných skleníkových plynov s dlhou životnosťou, teda oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), metánu (CH<sub>4</sub>) a oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) dosiahli v období rokov 2015–2018 nové historické maximá. V roku 2018 dosiahla globálna koncentrácia CO<sub>2</sub> 407,8 častíc na milión (ppm), bola teda o 2,2 ppm vyššia ako v roku 2017. Predbežné údaje za rok 2019 naznačujú, že koncentrácia CO<sub>2</sub> dosiahne alebo dokonca prekročí v tomto roku hodnotu 410 ppm. Priemerná rýchlosť rastu globálnej koncentrácie CO<sub>2</sub> sa počas troch po sebe nasledujúcich desaťročiach (1985–1995, 1995–2005 a 2005–2015) zvýšila z 1,42 ppm/rok

na 1,86 ppm/rok, ďalej až a na 2,06 ppm/rok, v poslednom uvádzanom období. V správe sa ďalej uvádza, že naposledy zemská atmosféra obsahovala 400 ppm CO<sub>2</sub> pred približne 3 až 5 miliónmi rokov, kedy priemerná globálna teplota bola o 2 až 3 °C vyššia ako dnes a hladina svetových oceánov a morí bola o približne 10 až 20 metrov vyššia v porovnaní so súčasnosťou. V správe Globálneho uhlíkového projektu (GCP) sa ďalej uvádza, že celosvetové emisie CO<sub>2</sub> vzrástli v roku 2018 (v porovnaní s predošlým rokom) o 2 %, a dosiahli tak novú rekordnú úroveň, 37 miliárd ton CO<sub>2</sub>. Súčasný výhľad hospodárskeho rozvoja a vývoja globálnej energetiky naznačujú, že globálne emisie CO<sub>2</sub> budú aj v roku 2019 minimálne také vysoké ako v roku 2018. Očakáva sa, že v roku 2019 sa globálne HDP zvýši o 3,2 %, pričom sa tiež predpokladá, že ak rýchlosť prechodu na nízkouhlíkové technológie a ekonomiku bude porovnateľná s obdobím za posledných 10 rokov, je potrebné počítať pri raste globálnej ekonomiky aj s ďalším navýšením antropogénnych emisií CO<sub>2</sub>.

### Rastúci rozdiel medzi emisnými záväzkami a realitou

V správe OSN sa uvádza, že pri súčasnom plnení (dobrovoľných) národných príspevkov (NDCs) sa neočakáva, že by globálne emisie CO<sub>2</sub> mohli dosiahnuť svoj vrchol (a teda aj následný pokles) ešte pred rokom 2030 (nehovoriac o roku 2020). Ak by sa aj súčasne národné emisné záväzky z Paríža (2015) úplne implementovali a dodržiavali, pri porovnaní s cieľom neprekročiť kritické oteplenie o 2,0 °C do roku 2100, globálne emisie CO<sub>2</sub> budú veľmi pravdepodobne v roku 2030 stále vyššie o 13 miliárd ton CO<sub>2</sub>e/rok. V prípade ambicióznejšieho cieľa (neprekročenie o 1,5 °C) bude tento rozdiel samozrejme ešte väčší (29 miliárd ton CO<sub>2</sub>e/rok). Pri súčasnom plnení národných záväzkov sa očakáva, že priemerná globálna teplota by sa do konca tohto storočia mohla zvýšiť o 2,9 až 3,4 °C.

*Organizácie, ktoré sa podieľali na príprave prehľadovej správy: World Meteorological Organization (WMO), Global Atmosphere Watch, United Nations Environment Programme (UNEP), Global Carbon Project, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Future Earth, Earth League a Global Framework for Climate Services.*

*Jozef Pecho, Ladislav Markovič  
SHMÚ, Bratislava*

## ŠPECIÁLNA SPRÁVA O STAVE OCEÁNOV A KRYOSFÉRY

Ľudia rýchlo menia svetové oceány na prehriate a kyslé prostredie nehostinné pre život. To je jeden zo záverov správy IPCC o stave oceánov a kryosféry, ktorú Medzivládny panel pre zmenu klímy (IPCC) zverejnil v stredu minulý týždeň v Monacu, pričom súčasne zdôrazňuje naliehavosť včasných, ambiciózných a koordinovaných opatrení v oblasti riešenia bezprecedentne rýchlych a trvalých zmien, resp. ich dopadov v oceánoch a v tzv. kryosfére. Slovo „kryosféra“ – z gréckeho kryos, ktoré znamená chlad alebo ľad – popisuje zamrznuté komponenty globálneho klimatického systému Zeme (na povrchu, pod povrchom a v oceánoch), vrátane snehu a snehovej pokrývky, hor-

ských a kontinentálnych ľadovcov, plávajúcich ľadových kryh a morského ľadu, ľadu na jazerách a riekach, ako aj permafrostu (sezónne alebo trvalo zmrazená pôda). Kryosféra, spolu s oceánmi, hrá kľúčovú úlohu pre život na planéte. Posledná správa IPCC prináša komplexné, súčasne však aj znepokojujúce informácie o stave globálnych oceánov (a kryosféry): oceány sú teplejšie, kyslejšie a menej produktívne (z pohľadu tvorby primárnej biomasy), horské a kontinentálne ľadovce sa roztápajú stále rýchlejšie, čo bezprostredne vedie k rýchlejšiemu zvyšovaniu hladiny oceánov a častejším pobrežným záplavám.

Podľa správy OSN zverejnenej v nedeľu 22. septembra, priemerná globálna teplota je v súčasnosti, v porovnaní s predindustriálnym obdobím, vyššia o 1,1 °C, a v porovnaní s obdobím 2011–2015 je vyššia o 0,2 °C. Priemerná rýchlosť nárastu hladiny svetových morí a oceánov sa medzi obdobiami 1997–2006 a 2007–2016 zvýšila z 3,04 milimetra za rok (mm/rok) na približne 4 mm/rok. Počas päťročného obdobia, od mája 2014 do mája 2019, sa miera priemerného globálneho rastu hladiny oceánov zvýšila dokonca až na 5 mm/rok. Správa pritom poukazuje na ďalekosiahle dôsledky, ktoré uvedené a rýchle zmeny majú na globálne ekosystémy a ľudskú spoločnosť. Celkovo 670 miliónov ľudí vo vysokohorských oblastiach a 680 miliónov ľudí v nízko položených pobrežných zónach je priamo odkázaných na oceánske a kryosférické systémy, ich stabilitu a produktivitu (dostupnosť vodných zdrojov, produkcia potravín, atď.). V arktickom regióne trvalo žijú 4 milióny ľudí a malé ostrovné rozvojové štáty (priamo ohrozené rastom hladiny oceánov) sú domovom ďalších 65 miliónov ľudí.

Oceány ovplyvňujú klímu na Zemi dosť zásadným spôsobom. Klimatické podmienky našej planéty by sa bez prítomnosti oceánov líšili od súčasných vo všetkých podstatných znakoch. Bez tohto obrovského rezervoára vody by zemská atmosféra neobsahovala takmer žiadnu vodnú paru a obeh vody, ak by vôbec existoval, by bol úplne odlišný. Bez termoregulačnej schopnosti oceánov a ich veľkej tepelnej kapacity by rozdiely v teplote vzduchu medzi rovníkom a polárnymi oblasťami boli tak extrémne, že by sme len sotva našli na Zemi miesto, kde by sa dalo v týchto neznesiteľných podmienkach prežiť. Oceány pokrývajú takmer tri štvrtiny povrchu Zeme a pri svojej priemernej hĺbke 4 km obsahujú 300-krát viac hmoty, majú 1000-krát väčšiu tepelnú kapacitu a obsahujú 50-krát viac oxidu uhličitého (uhlíka) ako celá atmosféra.

Nedocenenie úlohy oceánov pri genéze a zmene globálnej klímy vyplýva aj z toho, že ľudia zvyknú posudzovať súčasné otepľovanie predovšetkým z pohľadu zmien vo svojom okolí, a predovšetkým zmien teploty vzduchu nad pevninami. Pritom len približne 2 % tepla generovaného zosilneným radiačným pôsobením antropogénnych skleníkových plynov sa premietajú do ohrievania atmosféry (a zvyšovania jej priemernej teploty). Takmer celý zvyšok, teda viac ako 94 %, smeruje do oceánov, ďalšie 4 % sa spotrebujú na rast teploty zemského povrchu, pôdy a roztápanie ľadu a permafrostu.

Bez svetových oceánov by zmena klímy a otepľovanie prebiehali významne rýchlejšie. Zo znalostí prirodzeného uhlíkového cyklu vieme, že oceán si s atmosférou

vymieňa približne 90 až 100 Gt C za rok [1 Gt = 109 t], človek do atmosféry uvoľňuje 10 Gt C. Oceány priamo absorbujú až štvrtinu ľudmi vyprodukovaných emisií oxidu uhličitého (2,4 Gt C), ďalšiu štvrtinu pohlcuje globálna biosféra (3,2 Gt C) a približne polovica zostáva v zemskej atmosfére (4,7 Gt C).

Rozpúšťaním CO<sub>2</sub> vo vode vzniká slabá kyselina uhličitá, ktorej rastúca koncentrácia znižuje pH morskej vody. Pokles pH o 0,1 za posledných asi 250 rokov, a o približne 0,06 pH od konca 80. rokov (0,017 až 0,027 pH/desaťročie) sa možno nezdá byť na prvý pohľad veľký, no výskum naznačuje, že ide o najrýchlejšiu zmenu pH morskej vody za posledných asi 300 mil. rokov. Dôsledky takto rýchlej zmeny je už dnes možné sledovať vo všetkých oceánoch. Vyššia kyslosť ale nevedie len k tomu, že voda je korozívnejšia. Nižšie pH zapríčiňuje aj pokles koncentrácie uhličitých iónov v morskej vode, teda hlavného zdroja vápnika, z ktorého si morské organizmy, ako koralové či planktón, budujú svoje schránky. Pokiaľ súčasné tempo rastu koncentrácie CO<sub>2</sub> v atmosfére bude pokračovať alebo sa zrýchľovať, rýchlosť acidifikácie morskej vody môže dosiahnuť podmienky ťažko zlučiteľné s prežitím týchto druhov.

Ďalším zásadným problémom oceánov je rýchle zvyšovanie teploty morskej vody (+ 0,6 °C za posledných 100 rokov), ktoré spôsobuje celý rad fyzikálnych a biochemických zmien, a tie zase vedú k poklesu druhovej rozmanitosti morského života a priamo ohrozujú aj potravinové reťazce v oceánoch. S rastúcou teplotou povrchových vrstiev oceánov súvisia napríklad aj zmeny sezónneho rozšírenia morského zaľadnenia v oblasti Arktídy (výrazný pokles) a Antarktídy (mierny pokles), čo ma bezprostredný vplyv nielen na morskú biosféru, ale napríklad aj na zmeny morského prúdenia. Živočíchy, ktoré nemajú možnosť sa pohodovo adaptovať na nové termálne podmienky migráciou, sú vo svojich pôvodných teritóriách vystavené väčšiemu teplotnému stresu a stále nižšiemu obsahu kyslíka vo vode.

Asi najcitlivejšie na uvedené trendy reagujú tropické koralové útesy, ktoré v mnohých morských regiónoch zaznamenali veľmi výrazný ústup (v niektorých oblastiach Indického oceánu aj o viac ako 80 %; odumieranie koralov je tiež známe pod názvom „blednutie“ koralov; angl. „coral bleaching“). Odhaduje sa, že len v priebehu rokov 2015–2016 (počas pôsobenia teplej fázy ENSO, El Niño) uhynulo alebo bolo trvalo poškodených viac ako 60 % koralových útesov, prevažne v Indickom a Tichom oceáne. Synergický účinok rastúcej kyslosti a teploty vody môže do roku 2050 nakoniec viesť k situácii, kedy (tropické) koralové útesy budú stáť na samom pokraji vyhynutia.

Významne k tomuto trendu prispievajú aj tzv. morské vlny tepla (Marine Heatwaves, MHWs), a tak ako to poznáme v prípade atmosférických vln horúčav (HW), aj v prípade morských dochádza v posledných desaťročiach k častejšiemu výskytu a väčšej intenzite (vyššia teplota morskej vody a dlhšia doba trvania; súvisí to aj s rýchlym rastom tepelného obsahu oceánov, OHC). Keďže koralové útesy sú nielen útočiskom, ale aj významným zdrojom potravy pre morské populácie rýb v trópoch, je možné očakávať, že katastrofálny úhyn koralov sa skôr či neskôr negatívne prejaví aj v ekonomike – v dôsledku očakávaného poklesu výlovu komerčných druhov rýb (do roku

2050 až o 40 % v tropických oblastiach) môže dôjsť k veľmi vážnemu ohrozeniu potravinovej bezpečnosti v mnohých tropických oblastiach sveta, a to už v prvej polovici tohto storočia.

Pokles množstva rozpusteného kyslíka v morskej vode nesúvisí len s rastúcou teplotou vody, ktorý je pozorovaný hlavne v tropických oblastiach oceánov (v jednotkovom objeme teplej vody sa rozpustí vždy menšie množstvo kyslíka ako v studenej vode), ale aj so znečistením pobrežných vôd umelými hnojivami a následnou eutrofizáciou, ktorá vedie k premnoženiu siníc a rias, ochudobňujúcich vodu o kyslík. Najmä v blízkosti husto osídlených pobrežných oblastí alebo ústí veľkých riek sa v uzavretých zálivoch či priplavoch rozširujú nebezpečné anoxické a hypoxické zóny (zóny so zníženým obsahom kyslíka alebo bez kyslíka), ktorých plocha sa približne každých 10 rokov v oceánoch zdvojnásobuje. Medzi najznámejšie hypoxické zóny patria severné pobrežie Mexického zálivu, Čierne more, či priplav Kattegat (priplav medzi Švédskom a Dánskom). Za zmienku určite stojí to, že uvedený trend veľmi negatívne ovplyvňuje predovšetkým rozšírenie veľkých druhov rýb, teda tých, ktoré sú z komerčného hľadiska najzaujímavejšie (plachetník, tuniak, atď.).

Oceány pokrývajú takmer tri štvrtiny povrchu Zeme a so svojou priemernou hĺbkou takmer 4000 metrov predstavujú okolo 90 % obývateľného priestoru planéty. Okrem toho, že oceány sú obrovským rezervoárom vody a minerálov, či najrozsiahlejším obývaným ekosystémom na Zemi, svoju nenahraditeľnú úlohu majú aj v globálnom klimatickom systéme. Bez prítomnosti oceánov by nielenže neexistoval obeh vody na planéte, ale globálna klíma a počasie by boli aj ďaleko extrémnejšie. Vďaka veľkej tepelnej kapacite vody a obrovskej teplotnej „zotrvačnosti“, oceány zmierňujú teplotné výkyvy a vďaka existencii morských prúdov aj teplotné rozdiely medzi tropickými a polárnymi šírkami.

V správe IPCC sa objavili aj údaje o priemernom dlhodobom poklese objemu (úbytku) kontinentálnych ľadovcov od roku 2006 v Grónsku (–278 Gt/rok) a Antarktíde (–155 Gt/rok). Len pre zaujímavosť treba uviesť, že 360 Gt roztopeného ľadu dokáže v priemere zvýšiť hladinu oceánov o 1 mm (1 Gt roztopeného ľadu dokáže naplniť približne 400 000 olympijských plaveckých bazénov). Za posledných 50 rokov sa znižuje júnová plocha pôdy pokrytá snehom v Arktíde o 13 %/desaťročie (čo je za rovnaké obdobie pokles o 65 %), rovnaký trend možno pozorovať aj v ostatných horských oblastiach na celom svete. V Arktíde sa od roku 1979 výrazne znížil aj celkový rozsah plávajúceho morského ľadu, a to tak v letnom ako aj zimnom období (v septembri, kedy je dosahované ročné minimum tejto charakteristiky, klesol priemerný rozsah ľadu o takmer 50 % od roku 1979). Čo je možno ešte zásadnejšie, rýchlosť poklesu celkového objemu plávajúceho ľadu je v Arktíde ešte rýchlejšia (od roku 1979 o viac ako 80 %). Viacročný ľad rýchlo ustupuje, ľadové kryhy sú tenšie a náchylnejšie k odlamovaniu a rýchlejšiemu roztápaniu v priebehu leta. A menej ľadu v Arktíde priamo ovplyvňuje ďalekosiahle zmeny atmosférickej cirkulácie na severnej pologuli v priebehu celého roka (predovšetkým však v zime a na jar).

Ďalšie podrobnosti, najmä o budúcich projekciách vývoja vybraných indikátorov oceánov a kryosféry, možno nájsť v zhrňujúcej správe IPPC pre politických predstaviteľov [<https://www.ipcc.ch/srocc/home/>]

*Jozef Pecho, Ladislav Markovič  
SHMÚ, Bratislava*

## INFORMOVANIE O DISTRIBÚCII VÝSTRAH SHMÚ PROSTREDNÍCTVOM SEKcie KRÍZOVÉHO RIADENIA MV SR

Dňa 8. augusta 2019 zorganizovalo Ministerstvo vnútra SR tlačovú konferenciu na ktorej zástupcovia Sekcie krízového riadenia MV SR spolu so zástupcami SHMÚ informovali o šírení výstrah, ktoré vydáva SHMÚ. Zároveň zástupcovia MV SR priblížili novinárom prácu Centrálného monitorovacieho strediska Sekcie krízového riadenia MV SR.

Na úvod boli prítomní oboznámení s legislatívnymi rámcami súvisiacimi s výstrahami SHMÚ (Zákon č. 42/1994, č. 7/2010, č. 137/2010, č. 201/2009, vyhláška MV SR č. 388/2006 a operatívny pokyn MV SR č. 3/VI/2 z 20. decembra 2017).

Následne boli vysvetlené pojmy živelná pohroma a ohrozenie a potom boli vysvetlené základné črty, resp. interpretácia 3 stupňov meteorologických výstrah. SHMÚ vydáva v súčasnosti meteorologické výstrahy na 11 javov, ktoré sú automaticky po ich vytvorení na SHMÚ odoslané Sekcii krízového riadenia MV SR. Tá ich distribuuje na Koordináčnej stredisko integrovaného záchranného systému do príslušných (postihnutých) Okresných úradov v sídle kraja. Odtiaľ sú všetky meteorologické výstrahy distribuované na Okresné úrady ale meteorologické výstrahy 2. a 3. stupňa sú distribuované aj do obcí (zvyčajne starostom).

Hydrologické výstrahy sa podobne ako meteorologické členia na 3 stupne. SHMÚ vydáva v súčasnosti hydrologické výstrahy na 6 typov povodní, preto bolo novinárom vysvetlené ako jednotlivé typy povodní vznikajú, resp. bolo poukázané na rozdielnu rýchlosť ich vzniku a rozdielny časový predstih, s akým je možné ich výskyt detegovať a predpovedať. Distribúcia hydrologických výstrah prostredníctvom Sekcie krízového riadenia MV SR je rovnaká ako v prípade meteorologických výstrah, ale Okresný úrad v sídle kraja bezodkladne vykonáva varovanie obyvateľstva prostredníctvom sirén signálom „OHROZENIE VODOU“ alebo miestnymi informačnými prostriedkami, ak:

- obce nevarovali obyvateľstvo samotné obce na území ohrozenom ničivými účinkami vody po vyhlásení 3. stupňa povodňovej aktivity
- hrozí bezprostredné nebezpečenstvo a Okresný úrad v sídle kraja nemá informáciu o predchádzajúcom varovaní obyvateľstva obcou

Treba však upozorniť, že 3. stupeň povodňovej aktivity vyhlasuje starosta obce a nemusí byť viazaný na 3. stupeň hydrologickej výstrahy.

Distribúcia smogových oznámení a smogových výstrah SHMÚ má niekoľko odlišností od distribúcie meteorologických alebo hydrologických výstrah. Oznámenie o vzniku smogovej situácie sa vydá, keď koncentrácia určených látok v ovzduší prekročí tzv. informačný prah a výstraha pred závažnou smogovou situáciou sa vydá, keď prekročí koncentrácia určených látok v ovzduší tzv. výstražný prah. Legislatíva určuje, že sa informuje aj o pretrvavaní smogovej situácie (platnosti smogového oznámenia), o pretrvavaní závažnej smogovej situácie (platnosti smogovej výstrahy) ako aj o ukončení smogového oznámenia a o zrušení smogovej výstrahy. Uvedené informácie SHMÚ odošle aj Sekcii krízového riadenia MV SR. Tá ich distribuuje na Úrad verejného zdravotníctva SR a tradične na Koordináčnej stredisko integrovaného záchranného systému Okresného úradu v sídle kraja. Z Koordináčnej strediska integrovaného záchranného systému sú ďalej distribuované informácie o smogovej situácii na príslušný Regionálny úrad verejného zdravotníctva, na Okresný úrad a do obce.

Pre obyvateľov Slovenska sú informácie o výstrahách (upozorneniach) dostupné na webovej stránke SHMÚ ([www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)), ďalším distribučným kanálom je vysielačie verejnoprávneho rozhlasu a televízie (RTVS), regionálne vysielačie, miestne rozhlas, sieť sirén. Okrem toho príležitostne SHMÚ informuje o výstrahách na facebooku SHMÚ (<https://facebook.com/shmu.sk>). Na druhej strane facebook Sekcie krízového riadenia MV SR pravidelne zverejňuje odporúčania pre obyvateľstvo v prípade, že je vydaná výstraha SHMÚ alebo niekde vznikla mimoriadna udalosť (<https://facebook.com/Krizove-Riadenie-282991019236005>).

Pretože Centrálné monitorovacie stredisko Sekcie krízového riadenia MV SR okrem iného aj spracováva štatistiky mimoriadnych situácií a mimoriadnych udalostí, boli novinárom predstavené štatistiky za obdobie od roku 2013 do roku 2019 (termínu konania tlačovej besedy). Z nich napríklad vyplynulo, že najviac mimoriadnych udalostí spojených s povodňou bolo v rokoch 2014 (277) a 2017 (186), najviac mimoriadnych udalostí spojených so snehovou kalamitou bolo v rokoch 2019 (100) a 2013 (74) a mimoriadnych udalostí spojených s vetrom bolo najviac v roku 2017 (15). Z hľadiska územno-správneho rozdelenia Slovenska bolo zaznamenaných najviac mimoriadnych udalostí, spojených so živelnou pohromou za spomenuté obdobie, v okresoch Námestovo (78) a Žilina (56). Naopak, najmenej ich bolo zaznamenaných v okresoch Šaľa (0), Pezinok, Detva a Banská Štiavnica (1).

Na záver boli prítomným novinárom prezentované zábery z aktuálnej letnej sezóny zachytávajúce rozsah škôd alebo zásahy Hasičského záchranného zboru spôsobené prívalovými povodňami alebo nárazovým vetrom (zväčša vyvolané búrkami) a im zodpovedajúce výsledky radarových meraní SHMÚ, resp. výsledky meraní zo staníc SHMÚ, nachádzajúcich sa najbližšie k prezentovaným udalostiam.

*Jozef Csaplár  
SHMÚ, Bratislava*



## VÝROČNÁ KONFERENCIA EURÓPSKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI

Nedávke dánskej metropoly Kodaň, v Lyngby, sa v dňoch 8. až 13. septembra 2019 konala výročná konferencia Európskej meteorologickej spoločnosti (EMS) aplikovanej meteorológie a klimatológie (European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2019). Na konferencii, ktorá prebiehala v priestoroch Dánskej technickej univerzity (DTU), sa zúčastnilo viac ako 800 expertov z celého sveta a bolo prezentovaných okolo 400 posterov a viac ako 450 prednášok v 52 sekciách. Cieľom výročných stretnutí EMS je podporiť výmenu a skúseností a nových inovácií v oblasti meteorologického a klimatologického ale aj hydrometeorologického výskumu a monitoringu.

Hlavnou témou tohtoročnej EMS, reflektujúcou hlavné záujmy a činnosti hostiteľskej inštitúcie ako aj krajiny, bol meteorologický a klimatologický výskum v oblasti Arktídy (ale aj Antarktídy; EMS 2019: The Arctic: the new frontier for weather, ice and climate research, forecasting, and services). Arktída je región, ktorý patrí medzi najviac zasiahnuté globálnym otepľovaním a zmenou klímy. Vedci predpokladajú, že bude hrať kľúčovú úlohu pri tom, ako klimatické zmeny ovplyvnia zvyšok našej planéty. Niektoré zmeny, ktoré sa v Arktíde odohrávajú, je možné pritom sledovať len pomocou dištančných monitorovacích systémov. Priemerná teplota povrchu oceánov a pevniny sa zvyšuje v oblasti Arktídy približne dvakrát tak rýchlo ako v ostatných oblastiach sveta. Otepľovanie je súčasne sprevádzané rýchlym ústupom morského, ale aj pevninského ľadovania, rýchlym topením permafrostu, ako aj významným zvýšením prietokov vodných tokov vtekajúcich do Severného ľadového oceánu. Tieto zmeny majú dramatický vplyv na ekológiu a ľudskú komunitu v celej oblasti Arktídy, vyvolávajú problémy týkajúce sa bezpečnosti, sociálno-ekonomických pomerov a investícií do infraštruktúry, čím zdôrazňujú naliehavú potrebu lepšieho porozumenia všetkých relevantných procesov fungujúcich v arktickom klimatickom systéme. Ďalším závažným problémom je aj to, že rýchle zmeny arktického prostredia môžu zásadne ovplyvniť aj stredné geografické šírky severnej pologule, a to najmä prostredníctvom frekvencie výskytu extrémnych poveternostných situácií.

Aktívna účasť SHMÚ bola zabezpečená prezentáciou nasledujúcich odborných príspevkov (posterov):

- P. Faško, P. Kajaba, L. Markovič a J. Pecho: *Some aspects of the increase in the number of warmer-than-normal months in climatic conditions of Slovakia*; v časti UP3.1 Climate change detection, assessment of trends, variability and extremes;
- M. Turňa, K. Mikulová a P. Šťastný: *Drought in Slovakia in the year 2018*; v časti ES1.3 Climate change impacts, vulnerability and adaptation;
- J. Potanková: *Very high precipitation amounts in western Slovakia at the beginning of September 2018*; v časti OSA1.10 Challenges in High Resolution Short Range NWP at European level including forecaster-developer cooperation.

Súčasťou konferencie sú aj rôzne ocenenia, ktoré získavajú najlepšie práce v daných odboroch. Tento rok boli súčasťou konferencie aj ďalšie aktivity, napr. exkurzia do archívu ľadového jadra (Ice Core Archive) Centra pre ľad a klímu Inštitútu Nielsa Bohra Kodaňskej univerzity. Tento archív sa zaoberá odoberaním a skúmaním vzoriek ľadu z Grónska, ale aj Antarktídy. A keďže Grónsko je súčasťou Dánska, je to prestížny výskum, ktorý prináša výsledky o klíme našej Zeme a jej zmenách v histórii. Zo vzoriek grónskeho ľadovca (najhlbší vrt bol dosiahnutý v rokoch 1998–2001 a siahal do hĺbky 3000 m) sa dá na základe analýz zistiť prítomnosť rôznych častíc i molekúl vzduchu, ktoré charakterizujú historickú klímu minimálne severnej pologule. Jedným z najdôležitejších, ale aj najzaujímavejších výsledkov je určenie priebehu teploty v histórii Zeme, siahajúcej až 120 000 rokov späť.

Ďalším cieľom cesty bola účasť Paulíny Valovej, predsedníčky SMS pri SAV, na 21. Valnom zhromaždení EMS, ktoré sa konalo v nedeľu 8.9.2019 o 14.00 hod. ešte pred oficiálnym otvorením konferencie.

Rovnako dôležitým stretnutím bolo zasadnutie Programového a vedeckého výboru Konferencie, kde sa prerokovávala organizácia budúcoročnej Konferencie EMS 2020, ktorá sa bude konať 7.–11. 9. 2020 na Ekonomickej univerzite v Bratislave. Členovia výboru, kde boli zúčastnení aj zástupcovia SHMÚ a SMS (P. Valová), rozoberali oficiálne heslo konferencie, ktoré bolo pôvodne navrhnuté zo strany Slovenska ako domácej krajiny (SHMÚ a Slovenská meteorologická spoločnosť), mierne upravené prípravným výborom konferencie, ale po debate medzi všetkými členmi Výboru bol prijatý pôvodný návrh hesla, ktorý predniesla priamo na zasadnutí Výboru za SMS a SHMÚ Paulína Valová: „Europe and drought: Hydrometeorological processes, forecasting and preparedness“.

Okrem toho sa uskutočnilo aj neformálne stretnutie p. Martiny Junge z EMS a Paulíny Valovej kvôli prípravám – technickým záležitostiam – konferencie EMS v roku 2020. Organizátorom bude (ako je to v posledných rokoch už zaužívané) firma Copernicus, Nemecko, ale spolupráca SMS i SHMÚ s Európskou meteorologickou spoločnosťou bude potrebná napr. na zabezpečenie informácií o mieste konania konferencie, jej polohe, dostupnosti z letiska, vlaku, autobusu, ale aj autom na miesto konania, prípadne návrhy doplnkového programu (návštevy zaujímavých miest, výlety do okolia, exkurzia SHMÚ...). Rovnako je zaužívané, že organizátorská spoločnosť má právo navrhnúť odbornú sekciu Konferencie, ktorá zodpovedá hlavnému heslu Konferencie a tiež aj moderátora a spolumoderátora tejto sekcie.

Od p. Junge a p. Cegnar (Slovinsko) padol aj návrh na účasť Global Water Partnership Central and Eastern Europe v rámci Keynote sekcie Konferencie (predstavenie organizácie a možnosť debaty na tému ich práce), keďže regionálny sekretariát GWP CEE má sídlo v SHMÚ Bratislava, čo by bola vhodná príležitosť predstaviť sa práve na tejto Konferencii.

Jozef Pecho, Ladislav Markovič, Paulína Valová  
SHMÚ, Bratislava

## SEMINÁR “VYMÝVANIE DUSÍKA Z POĽNOHOSPODÁRSKY VYUŽÍVANÝCH PÔD”

Environmentálne pôsobenie všetkých foriem dusíka emitovaných z pôdy je nesporné, pričom majú regionálny i globálny dopad. Sú predmetom nielen monitoringu a vedeckého-výskumnej činnosti, ale aj politických diskusií, z ktorých vyplývajú národné i medzinárodné politiky a opatrenia na znižovanie emisií. V poľnohospodárstve je bilancia dusíkového cyklu dôležitá pre odhad emisií  $N_2O$ ,  $NH_3$ ,  $NO_x$ . Emisie vznikajú najmä vtedy, keď sa naruší vytvorená a ustálená proporcionálnosť množstiev a štruktúr dusíkatých látok medzi hlavnými zložkami životného prostredia, inak povedané naruší sa prirodzený cyklus dusíka v pôde a ovzduší. Straty dusíka z pôdy ovplyvňujú najmä kvalitu vody a ovzdušia.

Odborný seminár, ktorý sa konal na Slovenskom hydrometeorologickom ústave dňa 16. 9. 2019 bol zameraný na predstavenie novej metodiky na stanovenie množstva dusíka vymývaného z poľnohospodársky využívaných pôd na Slovensku. Súčasne bola predstavená aj nová metodika pre bilanciu emisií oxidu dusného ( $N_2O$ ) ako významného skleníkového plynu z tejto činnosti. Seminár prebiehal formou verejnej prezentácie Ing. Kristíny Tonhauzer, ako autorky novej metodiky, po ktorej nasledovala odborná diskusia, pripomienky a návrhy na zlepšenie z publiká.

Stretnutia sa zúčastnilo viacero expertov z rôznych častí odborného spektra, ako sú napríklad Ministerstvo životného prostredia a Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky, Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky, Slovenská agentúra životného prostredia a ďalšie, ktorí svojimi podnetmi prispeli k zlepšeniu návrhov.

Takáto forma verejného prezentovania výsledkov práce Odboru emisie a biopalivá spojená s diskusiou bola zorganizovaná po prvýkrát, pričom organizátori dúfajú, že sa podobné podujatia budú opakovať. Prínos je badateľný v oblasti zvýšenia transparentnosti a kvality spracovaných modelov a metodík.

Najväčším prínosom semináru boli návrhy na využitie kartografických podkladových máp BPEJ (Bonitované Pôdno-Ekologické Jednotky), ktoré obsahujú informácie o kvalite pôdy, zohľadnenie v mapách územia, ktoré sú registrované pod Naturou 2000, vymedzenie zraniteľných oblastí pod dusičnanovou smernicou, na ktorých je pravdepodobné ohrozenie vodných zdrojov a zákaz používania umelých hnojív.

Prezentované výsledky a nová metodika na stanovenie faktoru podielu vyplavovaného dusíka z poľnohospodárskych pôd na Slovensku bude popísaná aj v pripravovanej publikácii a taktiež bude prezentovaná na Konferencii mladých odborníkov v roku 2019.

Kristína Tonhauzer  
SHMÚ, Bratislava

## 2. ROČNÍK STRETNUTIA S REPORTÉRMÍ DOPADOV SUCHA V SMOLENICIACH

Dňa 29. 10. 2019 sa v kongresovom centre SAV v Smoleniciach konal už 2. ročník diskusného odborného stretnutia „*Monitoring a hodnotenie dopadov sucha na Slovensku* – stretnutie s reportérmi z praxe.“

Národnú reportovaciu sieť dopadov sucha tvoria odborníci priamo z poľnohospodárskej, ovocinárskej, vinohradníckej a lesníckej praxe, preto si spoluprácu s nimi veľmi vážime. Z tohto dôvodu SHMÚ zorganizovalo už 2. ročník takéhoto podujatia. Dopoldňajšia časť bola venovaná zhodnoteniu sucha na Slovensku v rokoch 2018 a 2019 a Národnej reportovacej sieti dopadov sucha, ktorá je zaradená a schválená uznesením Vlády Slovenskej republiky č. 110 zo 14. marca 2018 k materiálu H2ODNOTA JE VODA - Akčný plán na riešenie dôsledkov sucha a nedostatku vody. Popoludňajšia časť bola venovaná problematike dopadov sucha na poľnohospodársku prvovýrobu a zmene klímy a jej očakávaným dopadom na poľnohospodárstvo na Slovensku.

Súčasťou podujatia bola aj prehliadka Smolenického zámku spojená s odborným výkladom. Zároveň, ako poďakovanie za dlhodobú a pravidelnú spoluprácu, boli odmenení najaktívnejší reportéri. Veríme, že v začatej každoročnej tradícii stretnutí s našimi reportérmi budeme pokračovať i naďalej v čoraz väčšom počte.

Gabriela Ivaňaková, SHMÚ, Bratislava



## 10. EURÓPSKA KONFERENCIA O INTENZÍVNYCH BÚRKACH

V dňoch 4.–8. novembra 2019 sa v poľskom Krakove konala 10. európska konferencia o intenzívnych búrkach. V spolupráci s miestnymi meteorologickými inštitúciami ju organizuje ESSL (European Severe Storms Laboratory), ktorej členom je aj SHMÚ. Konferencia sa koná každé dva roky v rôznych miestach Európy už od r. 2001 a spája komunitu výskumníkov, meteorológov a vývojárov, ktorí sa zameriavajú na analýzu, predpoveď a modelovanie intenzívnych búrok, resp. nebezpečných javov spojených s búrkami. Škála tém je široká – dynamika, mikrofyzika a elektrina v atmosfére, analýza, nowcasting a krátkodobá predpoveď, detekcia nebezpečných búrok na základe



dištančných meraní, klimatológia nebezpečných javov a ich vývoj v budúcnosti, dopad na socioekonomickú sféru, ako aj hodnotenie úspešnosti a zníženie prípadných rizík atď.

ECSS (European Conference on Severe Storms) je najvýznamnejšia konferencia svojho druhu v Európe, ktorej sa v stále väčšom počte zúčastňujú aj odborníci z celého sveta. V tomto roku mali na konferencii zastúpenie odborníci zo všetkých kontinentov, pričom sa jej zúčastnili aj tí najvýznamnejší experti v rámci odboru (M. Parker, P. Markowski, H. Brooks, B. Coffey, R. Davies-Jones, Ch. Weiss, T. Púčik, M. Taszarek, P. Wang, J. Allen ...). Celkovo sa jej zúčastnilo 241 ľudí, najväčšie zastúpenie malo Nemecko a USA. Mnoho účastníkov vystúpilo aj aktívne s prezentáciou, alebo posterom. Na konferencii boli aj pracovníci SHMÚ. M. Šinger z Odboru meteorologické predpovede a výstrahy pripravil poster zameraný na analýzu a možnosti predpovede tornádickej supercely, ktorá sa vyskytla 3. októbra 2018 na krajnom východe Slovenska a spôsobila veľké materiálne škody<sup>1</sup>. V práci prezentoval aj výsledky z nehydrostatického numerického modelu ALARO s horizontálnym rozlíšením 1 km a ich porovnanie s hydrostatickým modelom ALADIN s horizontálnym rozlíšením 4,5 km, ktorý je na SHMÚ používaný v operatívnej prevádzke<sup>2</sup>.

Témy konferencie boli rozdelené do viacerých okruhov. V prvých dvoch dňoch bol program zameraný na dopady búrok na spoločnosť, možnosti včasného varovania, pozorovania, prípadové štúdie, mikrofyziku búrok, výboje, dynamiku nebezpečných búrok a tornád, vplyvy orografie na vývoj búrkových systémov a tornádogenézy. Neskôr sa prednášky venovali predpovediam a nowastingu búrok, ako aj satelitným štúdiám búrok a analýze prostredí, v ktorých sa vyskytujú. V tejto sekcii bolo prezentovaných aj niekoľko prípadov z družice GOES pre ilustráciu možnosti používania družíc MTG, ktorú v najbližších rokoch budú používať aj európske meteorologické služby. V posledných dňoch bol program zameraný na klimatologické vyhodnotenia búrok, vyhodnotenie možných rizík a súvis s klimatickou zmenou. Napr. z numerických simulácií jed-

notlivých parametrov dôležitých pre vývoj búrok vyplynulo, že v priestore strednej Európy by sa v budúcnosti mala zvýšiť vlhkosť v spodných hladinách troposféry a vertikálny teplotný gradient tiež, no ten len minimálne. To by mohlo zvyšovať početnosť búrok, no na druhej strane sa zdá, že bude väčší problém s iniciáciou búrok, čo by ich početnosť mohlo znižovať. Niekoľko prezentácií bolo venovaných aj možnostiam modelovania, konkrétne parametrizačných schémam v konvekcii, napr. porovnanie mikrofyzikálnych schém na prípade mimoriadne ničivého búrkového systému (bow echa) v Poľsku v auguste 2017. Podrobný program mož-

no nájsť na [https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/20191024-Programme\\_Book\\_final.pdf](https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/20191024-Programme_Book_final.pdf)

Miroslav Šinger  
SHMÚ, Bratislava

## KONFERENCIA „URBANIZOVANÁ KRAJINA, PÔDA A KLÍMA“

Dňa 7.11.2019 sa na pôde Národného poľnohospodárskeho centra – Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave uskutočnila vedecká konferencia: **Urbanizovaná krajina, pôda a klíma**, ktorú organizoval Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy (VÚPOP) v spolupráci so Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ) a Geografickým ústavom Slovenskej akadémie vied (GÚ SAV). Konferencia bola jednou z aktivít v rámci vedeckého projektu APVV-15-0136 „Vplyv nepriepustného pokrytia pôdy na klímu miest v kontexte klimatickej zmeny“, ktorý riešia spomínané tri pracoviská. Cieľom projektu je tvorba historických, súčasných aj predikovaných poznatkov na podklade identifikácie území pokrytých nepriepustným povrchom a klimatických aspektov – území s výskytom mestských ostrovov tepla. Za hlavný zmierňujúci účinok prekrytia pôdy možno považovať vytvorenie vyváženej priestorovej organizácie územia – plánovanie miest na regionálnej a lokálnej úrovni so zachovaním princípov udržateľnej krajiny a návrhy zelenej infraštruktúry miest, ktorá prispieva k významnej redukcii negatívnych dopadov na životné prostredie. Tieto atribúty boli nosnou témou konferencie.

Na konferencii bolo prezentovaných 12 príspevkov a 2 postery. Juraj Holec (SHMÚ) predstavil modelovanie mestského ostrova tepla v Trnave pomocou modelu MUKLIMO. Jan Geletič (Ústav informatiky AV ČR) ukázal modelovanie mikroklimy ulíc na príklade časti Praha-Holešovice s využitím modelu PALM-4U. Michal Žák (ČHMÚ) prezentoval vývoj tepelného ostrova Prahy. Konferencia pokračovala príspevkom Jaroslava Rožnovského (Záhradnícká fakulta Mendelovej univerzity v Brne)

<sup>1</sup> [http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET\\_CASOPIS/MC\\_2018-2.pdf](http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/MC_2018-2.pdf)

<sup>2</sup> [https://presentations.copernicus.org/ECSS2019-216\\_presentation.pdf](https://presentations.copernicus.org/ECSS2019-216_presentation.pdf)

na tému vplyvu povrchu mesta na teplotu vzduchu. Analýzu vývoja klímy a vybraných agroklimatických ukazovateľov predstavil Pavol Bezák (VÚPOP). Marián Melo (FMFI UK) uzavrel dopoludňajšiu sekciu prednáškou o meteorologických meraniach vo vybraných stredoeurópskych mestách v druhej polovici 18. storočia. Popoludňajší blok otvoril Daniel Szatmári (GÚ SAV) prezentáciou o delimitácii tried mestskej krajiny pre model MUKLIMO na príklade Bratislavy a Trnavy. Jaroslava Sobocká (VÚPOP) ukázala delimitáciu urbánnych environmentálne citlivých území vo vzťahu k pôdam, zeleni a mestskej klíme na príklade Bratislavy. Peter Pišút (PriF UK) prezentoval príspevok o genéze hnedozemí v centre Bratislavy. Martin Kováč prednášal na tému úlohy vodného cyklu v klimatickom probléme ľudstva. Stratégiu adaptácie mesta Trenčín na klimatickú zmenu predstavil Tomáš Šembera (EKOJET, s.r.o.). Konferenciu uzavrel Rastislav Bušo (Výskumný ústav rastlinnej výroby) s príspevkom na tému konvenčného a konzervačného obrábania pôd a úrod plodín v urbanizovanej krajine Trnavskej tabule.

Veríme, že vďaka účasti viac ako 60 ľudí z rôznych odborov a špecializácií môžeme považovať cieľ konferencie, vzájomne si vymeniť poznatky a spôsoby prístupu k problematike, za úspešne naplnený.

*Juraj Holec, Pavel Šťastný  
SHMÚ, Bratislava*

## KONFERENCIA OCHRANA OVZDUŠIA 2019

V dňoch 11. – 13. novembra 2019 sa na Štrbskom Plese opäť uskutočnil ďalší ročník tradičnej medzinárodnej konferencie OCHRANA OVZDUŠIA, ktorá si počas dlhoročnej existencie získala popularitu a významné miesto v odborných kruhoch. Na konferencii sa tak ako každoročne stretli zástupcovia štátnej a verejnej správy, univerzít a firiem pôsobiach v tejto oblasti, ako aj experti, ktorí prezentovali svoje skúsenosti v rámci odborného programu konferencie. Účastníci si mohli vypočuť zaujímavé odborné prezentácie a získať nové poznatky, ako aj možnosť zapojiť sa do diskusie s kolegami, ktorí majú podobné problémy a skúsenosti v rámci odbornej praxe.

Mediálnym partnerom konferencie bol po prvý raz aj náš Meteorologický časopis, ktorý mal aj priestor na prezentáciu v rámci večerného programu prvý deň konferencie.

Konferencii sa zúčastnili aj viacerí pracovníci a experti Úseku kvalita ovzdušia, ktorí pracujú v rámci Odboru emisie biopalív a Odboru monitorovanie kvality ovzdušia. Ako zvyčajne, členkou prípravného výboru konferencie bola Ing. Janka Szemesová, PhD., ktorá sa aktívne podieľala na príprave odborného programu a koordinácii priebehu konferencie. Moderovala dva panely počas prvého dňa konferencie, a to za oblasť zmeny klímy a prezentácie sponzorských spoločností.

Vo večernom sprievodnom programe prvý deň konferencie sa predstavil Mgr. Jozef Pecho, ktorý predniesol populárno-odbornú prednášku na tému problematiky klimatických zmien a scenárov vývoja klímy.

V rámci odbornej časti konferencie sa predstavila Ing. Zuzana Jonáček s prednáškou na tému: Nová bilancia

emisii znečisťujúcich látok z domácností s individuálnym vykurovaním, ktorá zhrnula výsledky grantu EUROSTAT, ktorý sa riešil na odbore v rokoch 2016–2018. Súčasťou prezentácie boli aj informácie o aktuálnom stave problematiky a plánov do budúcnosti. Na práci v tejto oblasti sa podieľali viacerí zamestnanci Odboru emisie a biopalív a spolupracovali na nej so Štatistickým úradom Slovenskej republiky.

D. Štefánik, J. Matejovičová, J. Krajčovičová, J. Beňo a V. Nemček pripravili prezentáciu o modelovaní kvality ovzdušia na výpočet priemernej koncentrácie a expozície PM<sub>10</sub> a NO<sub>2</sub> v okresoch Slovenska pre rok 2017. D. Štefánik prezentoval výsledky modelovania a poukázal na to, ako je možné riešiť problém nedostatku meracích staníc použitím modelovania.

Mgr. Jana Krajčovičová, PhD. informovala vo svojej prezentácii o výsledkoch modelovania kvality ovzdušia pre benzo(a)pyrén, ktorý je nebezpečnou znečisťujúcou látkou v ovzduší, pochádzajúcou najmä z lokálneho vykurovania domácností a cestnej dopravy.

Mgr. Martin Kremler stručne informoval o aktuálnom stave projektu Operačný program Kvalita životného prostredia v oblasti rozšírenia Národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia na Slovensku, ktorý sa práve realizuje na Odbore monitorovanie kvality ovzdušia.

Konferencia bola rozdelená na viacero oblastí a tém, a tak vytvárala ucelené bloky prezentácií spojených s diskusiou. Na zváženie pre organizátorov do ďalšieho ročníka je možnosť zorganizovať panelovú diskusiu na aktuálnu tému, s cieľom interaktívneho a dynamického zapojenia publika do diskusie.

*Janka Szemesová  
SHMÚ, Bratislava*

## KONFERENCIA MLADÝCH ODBORNÍKOV NA PÔDE SHMÚ

Dňa 14. 11. sa opäť uskutočnila na pôde SHMÚ Konferencia mladých odborníkov z oblasti hydrológie, meteorológie, klimatológie a kvality ovzdušia a z oblasti vodného hospodárstva, ktorá je spojená so súťažou v uvedených sekciách. Súťaže majú medzinárodný charakter a zúčastňujú sa ich aj mladí odborníci z Českej republiky.

Cieľom konferencie je prezentácia výsledkov prác v jednotlivých odboroch a nových vedeckých poznatkoch mladých ľudí, či už z radov študentov vysokých škôl alebo vedeckých pracovníkov, zaoberajúcich sa príslušnými vednými odbormi.

Súťaž organizoval Slovenský hydrometeorologický ústav. Ďalšími organizáciami, ktoré sa podieľali na príprave a priebehu konferencie, a ktorí túto konferenciu aj finančne podporili, boli: International Hydrological Programme of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrológiu, Slovenská meteorologická spoločnosť, IBL Software Engineering Slovakia, Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, Slovenská vodohospodárska spoločnosť a Zväz slovenských vedecko-technických spoločností. Odmeny víťazom odovzdali gestori súťaží.



**31. Konferencia mladých hydroológov** bola gestorovaná RNDr. Pavlom Mikláňkom, CSc. (ÚH SAV) ako zástupcom International Hydrological Programme of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrologiu, ktorý bol súčasne aj predsedom poroty. Do tejto súťaže sa zapojilo 10 súťažiacich s 9 súťažiacimi príspevkami, z toho 3 príspevky boli z Českej republiky a 6 príspevkov zo Slovenska. Porota po posúdení písomnej časti a prezentácie vybrala tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

- **Janečková, Lucia** - *Poprúdové zmeny zrnitosti riečnych lavíc Bečvy, SHMÚ BA,*
- **Mydla, Jakub** - *Možnosti riešenia povodňových situácií na dolnej Ondave, Svf STU BA, Katedra hydrotechniky,*
- **Vlach, Vojtěch** - *Hydrologické sucho v pramenných oblastiach Krušných hor, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha.*

V tomto roku bola jubilejná **20. Konferencia mladých meteorológov, klimatológov a kvality ovzdušia**. Jej gestorkou bola RNDr. Paulína Valová (SHMÚ BA), predsedníčka Slovenskej meteorologickej spoločnosti. Predsedníčkou poroty bola Mgr. Mária Derková, PhD. (SHMÚ BA). Do tejto súťaže sa zapojilo 8 súťažiacich s rovnakým počtom príspevkov, všetci súťažiaci boli zo Slovenska, z toho 7 účastníkov súťaže bolo priamo zo SHMÚ. Najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

- **Čatlošová, Katarína** - *Application of Mode-S data in numerical weather prediction at SHMÚ, SHMÚ BA,*
- **Šedivá, Tereza** - *The impact of plume rise on modelled SO<sub>2</sub> concentration profiles, SHMÚ BA,*
- **Štefánik, Dušan** - *Simple software for preparation CTM emission inputs: emPY, SHMÚ BA.*

**18. Konferencia mladých vodohospodárov** sa uskutočnila pod gestorstvom Ing. Ľubice Kopčovej, PhD. (VÚVH), predsedníčky Združenia zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve. Predsedom poroty bol Ing. Pavel Hucko, CSc. (VÚVH BA). Do tejto súťaže sa zapojilo 12 súťažiacich s 11 súťažnými príspevkami, z toho 1 súťažiaci bol z Českej republiky. Tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

- **Aleksić, Milica** - *Data visualization in open-source environment for land consolidation and water management, Svf STU BA, Katedra vodného hospodárstva krajiny,*
- **Paseka, Stanislav** - *Optimální návrh zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny,*
- **Pavůček, Martin** - *Analýza vplyvu opevnenia koryta pod haťou VD Hričov na tvorbu výmoloŕov, Svf STU BA, Katedra hydrotechniky.*

Vit'azné súťažné príspevky, štatúty konferencie a ďalšie informácie o Konferencii mladých odborníkov 2019 sú uverejnené na <http://www.shmu.sk/sk/?page=2328>.

Súťažné práce môžu autori publikovať v odborných periodikách, a to podľa pokynov, ktoré si jednotlivé periodiká stanovujú.

Alena Blahová, SHMÚ, Bratislava

## ČINNOSŤ SMS PRI SAV V DRUHEJ POLOVICI ROKA 2019

Slovenská meteorologická spoločnosť (SMS) pri SAV v roku 2019 organizuje populárno-náučné prednáškové popoludnia pre širokú verejnosť. Raz mesačne predstavujeme prácu meteorológov, klimatológov, hydroológov, ale aj odborníkov z príbuzných prírodovedných odborov. Všetky prednášky sú prispôbené tak, aby im rozumeli nielen odborníci, ale aj úplní laici, ktorých tá či oná oblasť hoci len okrajovo zaujíma. V prvom polroku 2019 sme zorganizovali 4 prednášky z odborov meteorológie, klimatológie, družicové merania v meteorológii, ale aj na tému o termojadrovej syntéze ako zdroji energie pre budúcnosť.

Po letných prázdninách sme pokračovali v septembri 2019 preloženou prednáškou z júna 2019 na tému: Kedy nám najčastejšie hrozia povodne. Prednášajúcou bola Ing. Danica Lešková, PhD., vedúca odboru Hydrologické predpovede a výstrahy Centra predpovedí a výstrah SHMÚ. V kinosále SHMÚ priblížila podmienky, ktoré vedú k vzniku rôznych typov povodní a ozrejnila aj prácu hydroprognostika pre predpovedanie povodní a vydávaní výstrah.

V októbri sme vycestovali za svojimi priaznivcami na východ Slovenska, a v Regionálnom pracovisku SHMÚ Košice odznela prednáška Mgr. Lucie Dlhošovej na tému: Ako vieme, ako bude.... (Predpoveď počasia – tvorba, skúsenosti, úskalia,...). Lucia Dlhošová (skúsená meteorologička SHMÚ, odborne a záujmovo zameraná najmä na problematiku konvektívnych javov v atmosfére, známa aj z televíznej predpovede počasia RTVS), vysvetľovala proces tvorby predpovedí a výstrah, základné zdroje údajov potrebných pre tvorbu predpovedí, úskalia modelovej predpovede počasia i skúsenosti meteorológov.

Posledné tohtoročné prednáškové popoludnie, ktoré sa konalo 21. 11. 2019 opäť v Bratislave, v SHMÚ na Kolibe, bolo venované veľmi zaujímavému a krásnemu javu – polárnej žiare. Kolega Tibor Csörgei, technik - pozorovateľ odboru Meteorologické siete úseku Meteorologická služba, SHMÚ Bratislava a nadšený amatérsky astronóm, priniesol materiály z Expedície POLÁRNA ŽIARA 2019, Tromsø, Nórsko. 24. októbra 2019 sa vybrala skupina šiestich nadšencov o astronómii a meteorológii z južného Slovenska do Nórska, až za polárny kruh, pozorovať polárnu žiaru - AURORA BOREALIS. Cesta dopadla nad všetky očakávania, nebeské divadlo sa ukázalo v celej svojej kráse. V rozprávaní o zážitkoch z tejto cesty sa podelil s prítomnými nielen slovom, ale aj fotografiami a videami tohto javu.

Samozrejmosťou súčasťou týchto prednáškových popoludní je po ich skončení široká diskusia, ktorá bola doteraz vždy rozsiahla a zaujímavá.

Informácie o pripravovaných podujatiach pravidelne a včas zverejňujeme na webových stránkach SMS ([www.slovakmeteo.sk](http://www.slovakmeteo.sk)) a SHMÚ ([www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)), ako aj na facebookovom profile SHMÚ.

Veríme, že prednášky verejnosť zaujali a aj ďalšie pripravované témy privedú do priestorov SHMÚ aj v roku 2020 ďalších záujemcov.

Paulína Valová  
predsedníčka SMS pri SAV



## SUCHO NA SLOVENSKU V MINULOSTI

Tak v Európe ako aj na Slovensku sa minulý rok 2018 zaraďil medzi najteplejšie roky minimálne za posledných 120 rokov. Spolu s teplotne mimoriadne nadnormálnymi podmienkami sužoval väčšiu časť západnej, severnej ale aj strednej Európy ďalší nepriaznivý fenomén, a to veľmi vážne sucho. To sa v niektorých krajinách (napr. Nemecko, Dánsko, Belgicko či Francúzsko) prejavilo vo významných stratách výnosov niektorých hlavných plodín. Napríklad, v Nemecku zaznamenali v roku 2018 straty výnosov kukurice až o 40 %. Na Slovensku nebola pritom situácia v niektorých regiónoch o nič lepšia. Na základe informácií od odborníkov z praxe, ktoré Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) zverejňuje prostredníctvom portálu intersucho.sk, bola odhadovaná strata výnosu niektorých plodín až 30 % a viac vo viacerých okresoch na Slovensku. Najvyššia odhadovaná strata výnosov bola v okresoch Rimavská Sobota, Michalovce, Košice - okolie a Nové Mesto nad Váhom.

### Stane sa sucho z roku 2018 novým normálom?

Vznik sucha je dlhodobý proces. Dôkazom bolo aj sucho v uplynulom roku, ktoré vyvrcholilo v Európe v priebehu letnej sezóny. V dôsledku veľmi neštandardných cirkulačných pomerov a dlhodobého rastu priemernej teploty vzduchu prevládalo v Európe v priebehu väčšej časti teplého polroka 2018 (apríl až september) veľmi teplé počasie. V dôsledku výskytu dlhotrvajúceho obdobia s nadnormálnymi teplotami a nedostatočnými zrážkami v priebehu leta došlo k prehlbovaniu zrážkového deficitu a rozšíreniu výskytu meteorologického sucha, neskôr aj pôdneho a hydrologického sucha. Sucho v roku 2018 však ani zďaleka nebolo ojedinelým fenoménom v období posledných približne troch desaťročí. V porovnaní s obdobím pred rokom 1990, sucho zasahuje v súčasnosti rôzne regióny Európy (ale aj iné oblasti vo svete) veľmi pravidelne, a existujú predpoklady, že rozsah (závažnosť) a frekvencia sucha bude v priebehu ďalších desaťročí 21. storočia postupne ďalej narastať.

Zoznam oblastí, ktoré boli v posledných rokoch výrazne zasiahnuté extrémnym suchom zďaleka nekončí len európskymi krajinami. Medzi najviac postihnuté regióny patrí Kalifornia, ktorá už od roku 2011 bojuje s trvalými následkami rozsiahleho sucha. Niet divu, že v minulom roku zasiahli Kaliforniu najrozsiahlejšie požiare v jej novodobej histórii. Podobne kritická situácia ako na juhozápade USA sa od roku 2005 už takmer pravidelne vyskytuje v Brazílii, pričom problémy s nedostatkom vody neriešia len chudobné regióny na severe krajiny, ale aj husto obývané mestské aglomerácie najväčších brazílskych miest (São Paulo, Rio de Janeiro či Belo Horizonte).

Sucho sa stále intenzívnejšie prejavuje aj v Austrálii. Vlny extrémne teplého a suchého počasia trápia Austráliu takmer bez prestávky už od roku 2003 a napríklad, mimoriadne sucho v roku 2009 prispelo k rozšíreniu zničujúcich požiarov v štáte Viktória (vyžiadali si minimálne 200 životov). Veľmi podobná, a v niektorých regiónoch pravdepodobne ešte vážnejšia situácia panuje v Austrálii aj v tomto roku. Lesné požiare však nie sú jediným dôsledkom sucha.

Dlhodobé sucho sa významne podieľa aj na poklese hladiny podzemných vôd, čo v mnohých regiónoch sveta spôsobuje problémy so zabezpečením dodávok úžitkovej vody. Bezprostredným dôsledkom sucha sú aj periódy extrémne vysokých teplôt, ktorých sme boli svedkami napríklad aj v Európe v rokoch 2003, 2010, 2012 alebo 2015.

### Sucho a klimatická zmena

Ponúka sa teda otázka, do akej miery je súčasná situácia so suchom výsledkom dlhodobého vývoja, s ktorým je potrebné počítať aj do budúcnosti, alebo je len výsledkom dočasnej krátkodobej premenlivosti zrážkového režimu na kontinentoch? Výskum zatiaľ ukazuje, že ide o prejav dlhodobého trendu, ktorý súvisí so skracovaním a zvyšovaním intenzity obehu vody (medzi oceánmi a pevninami) a tým aj s vysušovaním vnútrozemia kontinentov v dôsledku vyššej globálnej a regionálnej teploty vzduchu. Sucho je prirodzeným prejavom premenlivosti klímy v značnej časti Európy, a výnimkou nie je ani Slovensko. Najnovšie analýzy tohto fenoménu ale potvrdzujú skutočnosť, že globálne otepľovanie, v celej svojej komplexnosti, výskyt sucha a jeho prejavy na pevninách zvyrazňuje a dôsledky sucha zhoršuje. Pozorujeme to najmä častejším a dlhšie trvajúcim nedostatkom vody tak v pôdnom profile, ako aj v riekach a prírodných či umelých vodných rezervoároch.

Nárast globálnej teploty od polovice 70. rokov 20. storočia významne prispel k výraznejšiemu vysušovaniu mnohých, najmä vnútrozemských regiónov sveta. Napriek tomu, že častejší výskyt sucha je na kontinentoch zjavný už od 50. rokov (Afrika, južná a východná Ázia, južná Európa, východná Austrália, niektoré oblasti Južnej a Strednej Ameriky a v posledných dvoch dekádach predovšetkým aj v Amazónii). Nakoniec, potvrdzujú to aj dlhodobé trendy poklesu zrážok, odtoku a indexov sucha (napr. PDSI). K rozširovaniu sucha navyše v niektorých regiónoch prispela, okrem rastu globálnej teploty, aj prirodzená premenlivosť klímy, predovšetkým dlhodobé zmeny povrchovej teploty oceánov, ktoré zásadne menia intenzitu letného monzúnu, napr. v južnej Ázii a vo východnej Afrike.

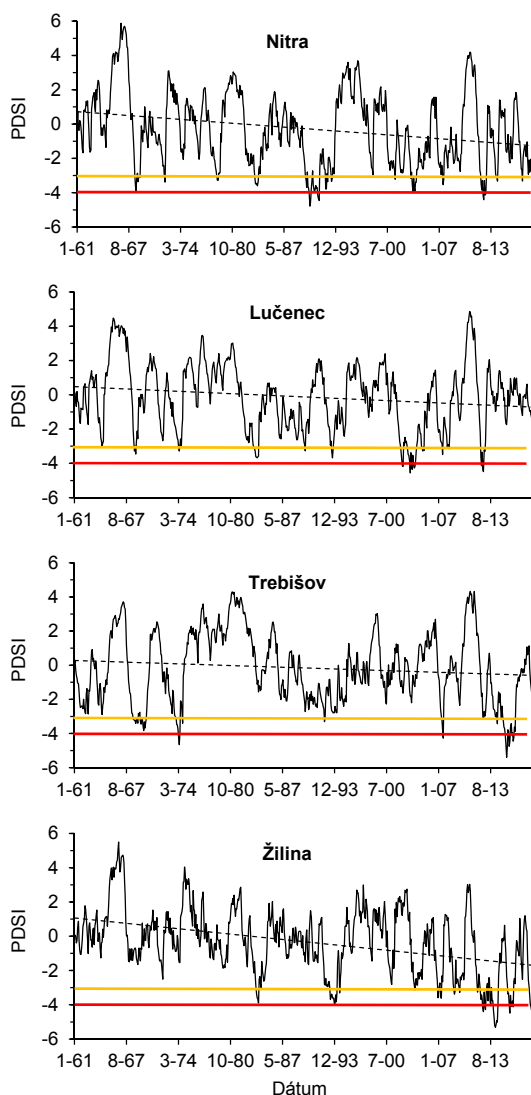
Scenáre pre 21. storočie pritom vôbec nevyznievajú z pohľadu výskytu sucha priaznivo. Pokračujúce otepľovanie bude mať pravdepodobne za následok zväčšovanie plochy územia zasiahnutého pravidelným alebo dlhotrvajúcim suchom. Odrazí sa to predovšetkým v poklese pôdnej vlhkosti vo veľkej časti Európy, Austrálie, oboch Amerík i Afriky. Nárast sucha v mnohých kontinentálnych oblastiach predpokladá aj komplexnejší Palmerov index sucha (PDSI). Aj keď pri interpretácii budúcich scenárov PDSI je potrebné byť opatrný, vzhľadom na očakávaný vývoj aj v prípade ďalších indikátorov sucha (napr. vlhkosť pôdy), je potrebné počítať s tým, že sucho môže byť v najbližších desaťročiach v mnohých regiónoch, vrátane Slovenska, vážnym problémom. Vývoj z posledných rokov je toho zdá sa jasným dôkazom.

### Sucho na Slovensku

Sucho na Slovensku v minulosti by sme mohli zhodnotiť podľa dvoch celosvetovo najviac používaných indexov, a to PDSI a SPEI. Obe indexy vo výsledku zahrňujú

okrem zrážok aj celkové množstvo výparu v milimetroch, pričom PDSI je o niečo zložitejší, pretože do jeho výpočtu je zahrnutá aj pôdna charakteristika – využiteľná vodná kapacita. PDSI aj SPEI sa počítajú v mesačnom kroku. Index SPEI je v tomto hodnotení prepočítaný na 12-mesačný krok, teda jeho hodnota predstavuje vlhkostné podmienky za posledných 12 mesiacov. Obidva indexy hodnotia sucho z dlhodobého hľadiska, teda nezohľadňujú bilanciu zrážok a výparu za posledný mesiac, ale za dlhšie časové obdobie a vzťahujú sa k normálnym podmienkam v danej lokalite. Súčasťou výpočtu PDSI je aj index CMI, ktorý sa počíta v týždennom kroku a používa ho aj SHMÚ v monitoringu sucha. Nižšie sú prezentované výstupy zo štyroch klimatologických staníc, ktoré ležia v rôznych oblastiach na Slovensku (Nitra, Lučenec, Trebišov a Žilina). Pri indexe PDSI je dôležitá hranica  $-3$ , ktorá predstavuje už závažné sucho, pri indexe SPEI je táto hranica už  $-1,5$  (žltá čiara v grafoch). Extrémne sucho začína podľa PDSI pri hodnote  $-4$  a podľa SPEI pri hodnote  $-2$  (červená čiara v grafoch).

**Obrázok 1. Pribeh indexu PDSI na vybraných staniciach od roku 1961 [Zdroj: SHMÚ].**



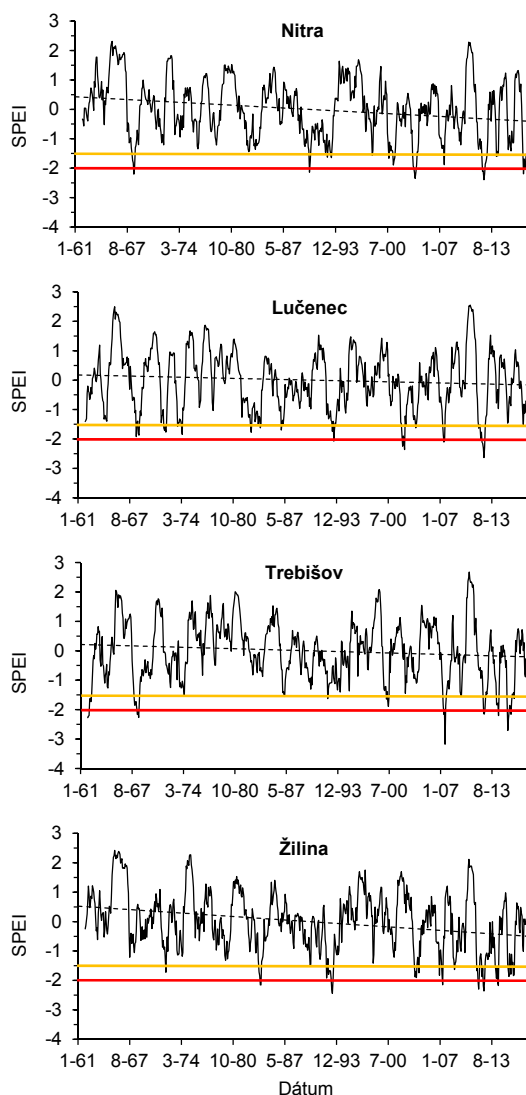
## Sucho v minulosti podľa PDSI

Na všetkých štyroch grafoch vidíme klesajúci trend hodnôt PDSI od roku 1961 (Obr. 1). Znižovanie hodnôt PDSI znamená, že pozorujeme čoraz suchšie podmienky. V minulosti sa veľmi vlhké podmienky vyskytli napríklad v rokoch 1966 a 2010, na východe to bolo aj v roku 1980. Veľmi suché podmienky boli v rokoch 1968 a 1984, začiatkom 90-tych rokov, v roku 2003 a posledná veľmi až extrémne suchá epizóda bola v roku 2015. V Nitre bolo najsuchšie v lete 1990, v Lučenci v lete 2003, v Trebišove koncom leta 2015 a v Žiline na jar v roku 2014. Ako môžeme vidieť, extrémne suché podmienky boli na všetkých štyroch staniciach až po roku 1990. Aj keď sa sucho vyskytlo aj pred rokom 1990, nebolo až také výrazné ako v posledných 20 až 30 rokoch.

## Sucho v minulosti podľa SPEI

Podobne ako pri PDSI, aj podľa SPEI pozorujeme klesajúci trend hodnôt (Obr. 2). Výsledky sú veľmi podobné ako

**Obrázok 2. Pribeh indexu SPEI na vybraných staniciach od roku 1961 [Zdroj: SHMÚ].**

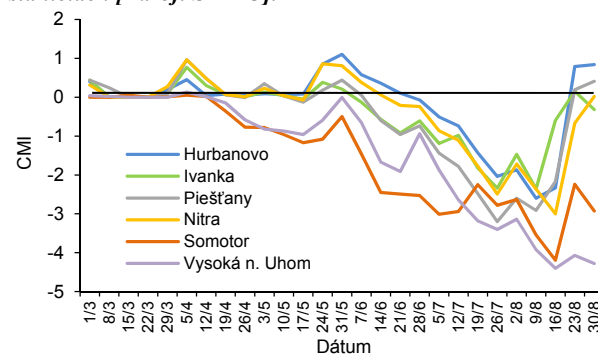


pri PDSI. Veľmi až extrémne vlhké podmienky boli na prelome rokov 1965 a 1966, tiež v roku 2010, a v Žiline aj v roku 1974. Veľmi suché podmienky boli v rokoch 1968, 1990, 2003, 2007, 2012, 2015 a 2018. V Nitre a Lučenci bolo podľa tohto indexu najsuchšie v lete 2012, v Trebišove v lete 2007 a v Žiline na jeseň 2018. Aj v tomto prípade boli extrémne suché podmienky až po roku 1990, a dokonca v Žiline sa vyskytli extrémne suché podmienky v ostatnom roku 2018, a trvali až do konca novembra 2018.

Výsledky podľa obidvoch indexov poukazujú na to, že suché podmienky sa vyskytujú čoraz častejšie a trvajú dlhšiu dobu. Sucho postihuje nielen južné oblasti, ale v posledných 10 rokoch sa extrémne suché podmienky vyskytli aj na severe. Príčinou tohto fenoménu je stúpajúci trend teploty vzduchu, s čím súvisí stúpajúci trend výparu z pôdy. Zrážky nedokážu tieto straty výparom kompenzovať, a preto sa krajina postupne vysušuje. V dôsledku zmeny klímy, a so vzrastajúcim významom sucha, sa SHMÚ v roku 2015 rozhodlo, že začne prevádzkovať monitoring sucha. Tento monitoring je rozdelený do dvoch sekcií.

Jednou z nich je sekcia Meteorologické sucho, v ktorom sa sucho hodnotí podľa troch indexov. Okrem SPEI sa používajú aj indexy SPI a Palmerov index CMI. SPI je len zrážkový index, teda jeho hodnota predstavuje deficit, resp. nadbytok zrážok vzhľadom na dlhodobý priemer zrážok v danej oblasti. CMI index je založený na bilancii výparu a zrážok, teda v zimnom období, keď prevažujú zrážky nad výparom, je jeho hodnota kladná, čo poukazuje na dostatok vlhky v pôde, a naopak v lete je záporný, a to najmä v tých oblastiach, kde zrážky sú nižšie ako výpar. Druhá sekcia v monitoringu sucha na SHMÚ je Pôdne sucho, ktoré sa prevádzkuje spolu s firmou CzechGlobe a jeho výsledky nájdete na stránke [www.intersucho.sk](http://www.intersucho.sk).

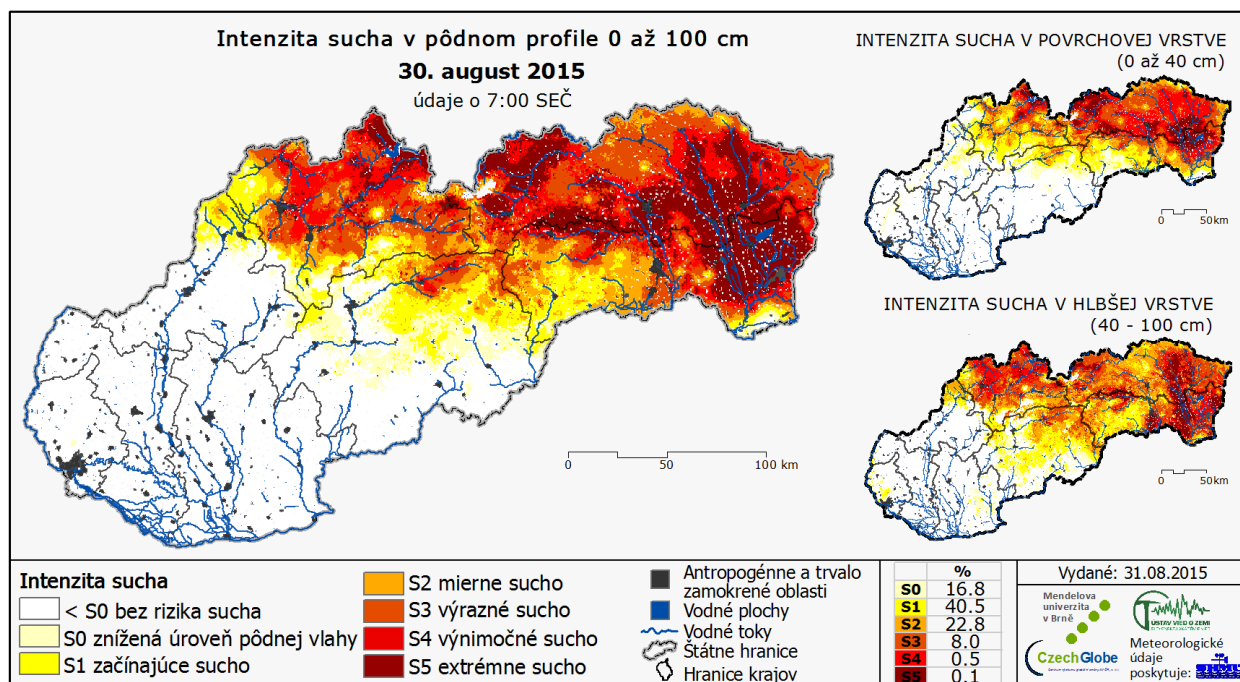
**Obrázok 3. Priebeh CMI počas sezóny 2015 na vybraných staniciach [Zdroj: SHMÚ].**



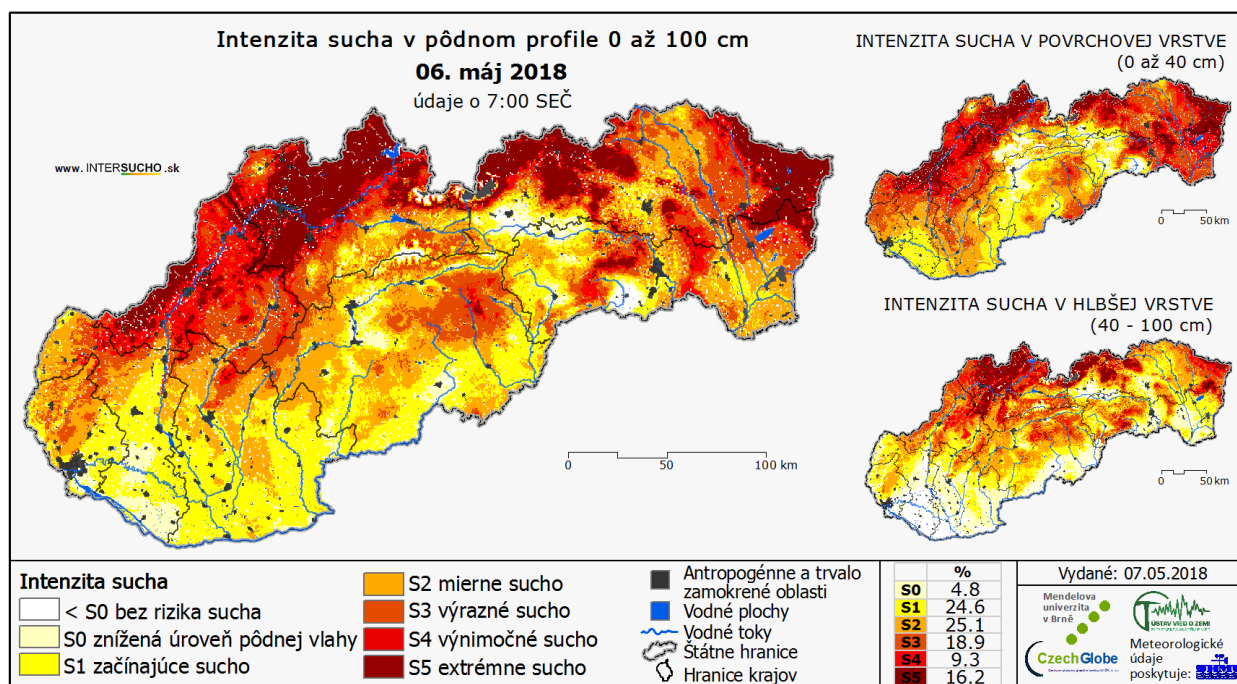
### Sucho v roku 2015

V roku 2015 sa začala testovacia verzia monitoringu sucha na SHMÚ. Meteorologické sucho sa monitorovalo na 12 staniciach na Podunajskej a Východoslovenskej nížine pomocou troch indexov SPI, SPEI a CMI. Z týchto staníc bolo sucho najvýraznejšie na Východoslovenskej nížine. Pre ilustráciu uvádzame graf priebehu indexu CMI počas sezóny 2015 (Obr. 3). Najnižšia hodnota CMI bola na stanici Somotor a Vysoká nad Uhom. Ako môžeme na grafe vidieť, sucho bolo najintenzívnejšie na konci augusta a pokračovalo až do septembra. Na stanici Somotor dokonca index CMI dosiahol najnižšiu hodnotu od roku 1961 a na stanici Vysoká nad Uhom to bolo od roku 1981. Podobne extrémne suché podmienky indikoval aj index SPEI. Podľa monitoringu pôdneho sucha bola najkritickejšia situácia na západe 19. júla a na východe 30. augusta 2015. Na obrázku 4 je stav intenzity sucha z 30. augusta, kedy západ Slovenska bol väčšinou bez rizika sucha, ale na východe prevládalo extrémne sucho.

**Obrázok 4. Stav intenzity sucha k 30. 8. 2015 [Zdroj: SHMÚ].**



Obrázok 5. Stav intenzity sucha k 6. 5. 2018 [Zdroj: SHMÚ].



## Sucho v roku 2017

Sucho v roku 2017 bolo výnimočné svojou dĺžkou trvania predovšetkým na juhozápade Slovenska. Významne zasiahnutý bol však celý západ Slovenska, čo sa odzrkadlilo aj na škodách, ktoré poľnohospodári vyčíslili na 19,3 mil. EUR (<http://www.sppk.sk/clanok/2066>). Obdobie deficitu sa na väčšine územia Slovenska začalo ešte v polovici decembra 2016. Február priniesol zlepšenie situácie vo viacerých regiónoch. Problematickým zostal iba krajný juhozápad v okolí Bratislavy. Dlhodobý pretrvávajúci vlhový deficit sa postupne čoraz výraznejšie prejavoval aj na intenzite pôdneho sucha. Jedným z dopadov pretrvávajúceho sucha bol aj vysoký index požiarneho nebezpečenstva lesných porastov. Na konci júna dosahoval svoj najvyšší, piaty stupeň na Záhorí a Podunajskej nížine. Suché obdobie bolo ukončené až na konci septembra 2017.

## Sucho v roku 2018

Už v januári boli veľmi až extrémne suché podmienky na Spiši a Šariši. Vo februári a v marci sa podmienky meteorologického sucha zmiernili. Plošnejšie sa extrémne meteorologické sucho rozšírilo v prvej polovici mája. K 6. máju 2018 bolo extrémne sucho na približne polovici územia Slovenska. V druhej polovici mája sa situácia zlepšila. V priebehu leta bolo krátkodobé, len na niektorých staniciach, veľmi sucho. Počas leta sa vyskytli regionálne rozdiely spôsobené územne nerovnomerne rozloženými zrážkami, ktoré boli hlavne v podobe búrok a prehánok.

Opätovné zhoršovanie situácie nastalo v druhej polovici augusta. Najmä na juhovýchode bolo až extrémne sucho, ktoré s krátkym prerušením pokračovalo aj v septembri. Neskôr sa na východe podmienky v októbri zlepšili, ale extrémne sucho sa objavilo na Záhorí. Najintenzívnejšie extrémne sucho bolo na prelome októbra a novembra v Kuchyni na Záhorí, kde hodnota SPEI výrazne klesla pod hranicu  $-3$ . Na konci novembra extrémne sucho zasiahlo severozápad Slovenska a západnú časť stredného Slovenska. Podobne ako v Kuchyni v októbri, tak na konci novembra bola hodnota SPEI výrazne pod  $-3$  tentoraz na stanici Prievidza.

Podľa vlhkostného indexu CMI bolo najsuchšie v lete v Jaslovských Bohuniciach a v Orechovej. Na oboch staniciach bola hodnota CMI nižšia ako  $-3$ , čo predstavuje už závažné sucho. Ohľadom pôdneho sucha bola situácia ešte do polovice apríla celkom priaznivá. V druhej polovici apríla sa sucho začalo rozširovať najskôr na severozápade, a neskôr aj na východe Slovenska. Na začiatku mája bolo extrémne sucho na 16 % územia, pričom najhorší stav bol v Žilinskom, Prešovskom a aj Trenčianskom kraji (Obr. 5). V druhej polovici mája sa situácia čiastočne zlepšila. Extrémne sucho sa opäť rozšírilo v prvej júnovej dekáde, a to najmä na východnom a severozápadnom Slovensku. K 10. júnu extrémne sucho zasahovalo 7,5 % územia. V júli a v auguste pôdne sucho nebolo až tak rozšírené. Zhoršenie nastalo v priebehu septembra, kedy bolo extrémne sucho najmä na krajnom východe Slovenska a tento stav trval až do druhej polovici novembra.

Jozef Pecho, Maroš Turňa, SHMÚ, Bratislava

# PERSONÁLIE

## PERSONALS

**RNDr. DAGMAR KRIŠKOVÁ**  
(3.7.1944 – 18.7.2018)

V lete tohto roku si viacerí meteorológovia pripomenuli nedežité 75. narodeniny pani doktorky.

V 70. rokoch minulého storočia naša Dáška – tak ako sme ju familiárne volali, vstúpila do čisto mužského, a jej vekovo primeraného kolektívu - na oddelenie synoptickej meteorológie. Svojou energiou a skromnosťou si obhájila miesto i medzi mužmi. Postupne sa stala vedúcou Oddelenia spracovania meteorolog. údajov, ale hlavne prvou dámou slovenskej meteorológie. V 70. až 90. rokoch sa aktívne podieľala na výskumných úlohách, prezentácií predpovedi počasia v masmédiách. Tak ako išiel čas, vytrácali sa jej mužskí kolegovia a prichádzali iní. Ona si však našla cestu aj ku novým kolegom a kolegyniam, ktorí boli od nej mladší a mladší. Okrem nových kolegov, nastala po roku 1989 aj nová spoločenská situácia. V práci sa začali využívať nové materiály a zavádzali sa nové postupy práce. Pracovitá, skromná, láskavá, no sebavedomá p. RNDr. Krišková pokračovala v novom prostredí vo svojej púti na SHMÚ.

Vyzeralo to, že vydrží ešte niekoľko generácií, no v roku 2016 potreboval jej pomoc blízky človek. P. Dáška ukončila svoju prácu na SHMÚ, rozlúčila sa so všetkými kolegami, usmiala sa a ako bolo jej zvykom odišla pomôcť tomu, ktorý to v danej chvíli potreboval najviac, nehľadiac na seba.

*Jana Čerbová  
SHMÚ, Bratislava*

**K 80. NARODENINÁM**  
**Ing. JOZEFA TURBEKA**

V novembri tohto roku sa dožíva náš bývalý kolega, dnes dôchodca, Ing. Jozef Turbek, významného životného jubilea, 80 rokov. Bol dlhoročným pracovníkom Sloven-

ského hydrometeorologického ústavu. V celom svojom profesionálnom živote sa významne podieľal na expertíznej a výskumno-vývojovej činnosti v oblasti hydrológie, a to najmä v oblasti monitorovania, hodnotenia a interpretovania hydrologických veličín. O jeho pracovnej kariére sme písali v našom časopise v roku 2009, pri príležitosti jeho 70-tych narodenín, ktoré s nami oslávil ešte v plnom pracovnom nasadení, ale už ako pracujúci dôchodca. Vymenovať všetky jeho práce by znamenalo vymenovať celý rad významných článkov, štúdií, metodík. Ale spomeniem aspoň autorstvo metodiky hodnotenia vplyvu VDG na hladinový a prietokový režim Dunaja a jeho príslušných ramien a následné každoročné vyhodnotenie tohto vplyvu. Mimochodom, táto metodika sa používa ešte aj v súčasnosti. Jeho zásluhou náš ústav dostal aj poverenie na zriadenie a zabezpečovanie činnosti Hydrológického normalizačného strediska. Prostredníctvom činnosti technickej komisie TK64 - Hydrológia a meteorológia, ktorej bol dlhé roky predsedom, sa dnes môžeme pochváliť celým radom platných národných a odvetvových noriem z oblasti monitorovania, spracovania a interpretovania hydrologických veličín pre povrchové a podzemné vody. Svojou odbornosťou dal takto výborný základ spolupráci aj s európskym normalizačným centrom v tejto oblasti, a v súčasnosti sa môžeme pochváliť že máme priame zastúpenie v európskej technickej komisii pre hydrometriu (CEN/TC 318 Hydrometry).

Do zaslúženého dôchodku odišiel v roku 2011.

Milý Jožko, k Tvojim narodeninám Ti chcem zo srdca v mene seba a v mene všetkých spolupracovníkov zablahoželať a poďakovať za Tvoju dlhoročnú prácu, ktorá je stále obrovským prínosom pre celoslovenskú hydrológiu, z ktorej môžeme my, Tvoji nasledovníci, stále čerpať a dúfam, že aj rozvíjať. Do ďalších rokov Ti prajem hlavne zdravie, pohodu a spokojnosť.

*Jana Poórová  
SHMÚ, Bratislava*





## POKYNY PRE AUTOROV

Meteorologický časopis publikuje pôvodné vedecké práce, prehľadové články, odborné príspevky, odborné informácie a personálie. V časopise sa publikujú prednostne príspevky v anglickom jazyku, v obmedzenom rozsahu tiež v slovenskom a českom jazyku.

Pre nových prispievateľov odporúčame formu príspevku prispôsobiť podľa tohto čísla Meteorologického časopisu. Texty príspevkov (MS Word), grafy (MS Excel) a obrázky (CorelDraw; jpg, tiff alebo iný grafický formát) je potrebné poslať v elektronickej forme

na e-mailovu adresu [norbert.polcak@shmu.sk](mailto:norbert.polcak@shmu.sk)  
a kópiu na adresu [katarina.pukancikova@shmu.sk](mailto:katarina.pukancikova@shmu.sk)

alebo

Norbert Polčák  
redakcia Meteorologického časopisu  
Slovenský hydrometeorologický ústav  
P.O.Box 15, 833 15 Bratislava 37

---

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Meteorological journal is publishing original scientific papers, reviews and short communications. The languages of the journal are English, Czech and Slovak.

New contributors are recommended their manuscript to conform to this issue of the Meteorological Journal. Manuscript (MS Word), graphs (MS Excel) and pictures (CorelDraw; jpg, tiff or other graphic file format) should be submitted electronically to

e-mail address [norbert.polcak@shmu.sk](mailto:norbert.polcak@shmu.sk)  
and copy to [katarina.pukancikova@shmu.sk](mailto:katarina.pukancikova@shmu.sk)

or

Norbert Polčák  
Editorial Board of the Meteorological Journal  
Slovak Hydrometeorological Institute  
P.O.Box 15, 833 15 Bratislava 37  
Slovak Republic

