

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2018

ROČNÍK 21 – ČÍSLO 1

VOLUME 21 – NUMBER 1

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

GLACIAL-INTERGLACIAL CYCLE VARIABILITY IN LOESS-PALEOSOL AND DEEP SEA PROXY DATA THROUGH LOGISTIC REGRESSION	
Pavel Samec	3
DROUGHT IN 2017 IN CONTEXT OF DROUGHT PERIODS SINCE 1981 IN SLOVAKIA	
Lívia Labudová, Maroš Turňa, Norbert Polčák	13
IMPLEMENTATION OF MITIGATION MEASURES AND THEIR POTENTIAL FOR REDUCING EMISSIONS IN AGRICULTURE	
Kristína Tonhauzer, Janka Szemesová	23
THE 1951–2017 SUMMER WARM SPELLS IN SLOVAKIA IDENTIFIED BY USING SPATIAL VALUES OF TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Dalibor Výberčí, Jozef Pecho	31
THE POSSIBILITIES OF OPERATIONAL DETECTION OF DANGEROUS CONVECTIVE PHENOMENA BY MEANS OF STANDARD PRODUCTS OF SHMÚ RADARS	
Cyril Siman	39

INFORMATION

State of the climate in Slovakia in 2017	
Jozef Pecho, Oliver Bochníček, Pavel Faško, Gabriela Ivaňáková, Peter Kajaba, Lívia Labudová, Ladislav Markovič, Katarína Mikulová, Pavel Šťastný, Maroš Turňa	55
Slovak Meteorological Society associated with SAS – history and present	
Paulína Valová	61
Business trip in Antarctic	
Peter Hrabčák	62
Seminar “Drought monitoring and its impacts” within the DriDanube project	
Pavel Šťastný	64
Activities within EMEP/CLRTAP/UN ECE in 2017	
Marta Mitošinková	64
International activities of Emissions and Biofuels Dpt.	
Janka Szemesová	65
Seminar on the occasion of the World meteorological day and World water day	
Ivan Garčár	66
25th year of Open door day in SHMÚ	
Ivan Garčár	66

PERSONALS	67
------------------------	----

OBSAH

PROMĚNLIVOST GLACIÁLNĚ-INTERGLACIÁLNÍCH CYKLŮ VE SPRAŠOVĚ-PALEOPŮDNÍCH A HLUBOKOMOŘSKÝCH PROXY DATECH POMOCÍ LOGISTICKÉ REGRESE	
Pavel Samec	3
SUCHO V ROKU 2017 V KONTEXTE VÝVOJA SUCHÝCH OBDOBÍ OD ROKU 1981 NA SLOVENSKU	
Lívia Labudová, Maroš Turňa, Norbert Polčák	13
IMPLEMENTÁCIA MITIGAČNÝCH OPATRENÍ A ICH POTENCIÁL PRE ZNIŽOVANIE EMISÍ V POĽNOHOSPODÁRSTVE	
Kristína Tonhauzer, Janka Szemesová	23
LETNÉ PERIÓDY TEPLÉHO POČASIA V OBDOBÍ 1951–2017 NA SLOVENSKU, IDENTIFIKOVANÉ S VYUŽITÍM PRIESTOROVÝCH HODNÔT TEPLOTNÝCH CHARAKTERISTÍK	
Dalibor Výberčí, Jozef Pecho	31
MOŽNOSTI OPERATÍVNEJ DETEKcie NEBEZPEČNÝCH KONVEKTÍVNYCH JAVOV POMOCOU ŠTANDARDNÝCH PRODUKTOV RÁDIOLOKAČNEJ SIETE SHMÚ	
Cyril Siman	39

INFORMÁCIE

Klimatologické zhodnotenie roka 2017	
Jozef Pecho, Oliver Bochníček, Pavel Faško, Gabriela Ivaňáková, Peter Kajaba, Lívia Labudová, Ladislav Markovič, Katarína Mikulová, Pavel Šťastný, Maroš Turňa	55
Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV – história a súčasnosť	
Paulína Valová	61
Služobná cesta v Antarktíde	
Peter Hrabčák	62
Seminár „Monitoring sucha a jeho dopadov“ v rámci projektu DriDanube	
Pavel Šťastný	64
Aktivity v rámci EMEP/CLRTAP/EHK OSN v roku 2017	
Marta Mitošinková	64
Medzinárodné aktivity odboru Emisie a biopalivá	
Janka Szemesová	65
Seminár pri príležitosti Svetového meteorologického dňa a Svetového dňa vody	
Ivan Garčár	66
25. ročník Dňa otvorených dverí na SHMÚ	
Ivan Garčár	66

PERSONÁLIE	67
-------------------------	----

GLACIAL-INTERGLACIAL CYCLE VARIABILITY IN LOESS-PALEOSOL AND DEEP SEA PROXY DATA THROUGH LOGISTIC REGRESSION

PAVEL SAMEC

Department of Forest Ecology, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, CZ-613 00 Brno, Czech Republic

Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University, 17. listopadu 50, CZ-771 46 Olomouc, Czech Republic (www.geoinformatics.upol.cz)

Glacial-interglacial cycles differed by various relationships between atmospheric CO₂ content variability and sedimentary properties. In this study, we estimate variability of the sedimentary proxy data in Late Quaternary through logistic regression. Relationships between CO₂ in the Vostok ice-core (east Antarctica) and $\delta^{18}\text{O}$ from deep-sea sediments of the Ontong Basin (east Pacific) and magnetic susceptibility (MS), grain size median (GSM) and CaCO₃ from the Lingtai formation (central China) loess-paleosol sequence were modelled for the period between 417 and 0 ka (Glacials E-A and MIS 11–1). The variabilities were estimated by changes in regression parameters among the Saalian (SC3 417–126 ka), Weichselian (SC2 126–12 ka) and Holocene (SC1 12–0 ka) supercycles. Not all the deep-sea and loess sediment properties recorded supercycle CO₂ variation in the same way. Overall, the $\delta^{18}\text{O}$ ratio characterised CO₂ content most accurately. Correlations between CO₂ and $\delta^{18}\text{O}$, MS and CaCO₃ showed an increasing trend, while that for GSM decreased. While the significance of the MS correlation was similar to that for CaCO₃ and $\delta^{18}\text{O}$ in the Holocene period, it was the least significant relationship between the Saalian and Weichselian supercycles. The difference between loess-paleosol glacial and interglacial proxy data increased more than that of $\delta^{18}\text{O}$. Glacial values were influenced by CO₂ variation more than interglacial values. Deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ and natural soil CaCO₃ registered the transition between glacial and interglacial periods most reliably. The start of an interglacial period was more reliably predicted than that of a glacial period due to the low interglacial soil CaCO₃ content. While low CaCO₃ content was not related to CO₂ or $\delta^{18}\text{O}$ variation, soil CaCO₃ content > 2% was. Natural variability in Holocene proxy data appears to be suitable for predicting future environmental changes.

Glaciálně-interglaciální cykly se odlišovaly rozdílnými vztahy mezi proměnlivostí obsahu atmosférického CO₂ a vlastnostmi vznikajících sedimentů. Tato studie se zabývá proměnlivostí hodnot sedimentárních proxy dat v mladém kvartéru pomocí logistické regrese. Modelován byl vztah proměnlivosti CO₂ z ledovcového vrhu Vostok (Východní Antarktida) s $\delta^{18}\text{O}$ v hlubokomořských sedimentech pánve Ontong (Východní Tichý oceán) a magnetické susceptibilitě (MS), velikosti středního zrna (GSM) a podílu CaCO₃ ve sprašově-paleopůdní sekvenci souvrství Lingtai (Střední Čína) v období 417–0 ka (glaciály E-A a mořské izotopové fáze 11–1). Proměnlivost byla odhadována pomocí změn parametrů regrese mezi sálským (SC3 417–126 ka), viselským (SC2 126–12 ka) a holocenním supercyklem (SC1 12–0 ka). Vlastnosti hlubokomořských a sprašových sedimentů zaznamenávaly kolísání CO₂ v jednotlivých supercyklech nestejnoměrně. Poměr $\delta^{18}\text{O}$ stabilně nejpřesněji charakterizoval obsah CO₂. Korelace $\delta^{18}\text{O}$, MS a CaCO₃ s CO₂ se zvětšily, zatímco korelace GSM klesla. Korelace MS byla mezi sálským až viselským supercyklem nejméně významná, ale v holocénu je podobně významná jako CaCO₃ a $\delta^{18}\text{O}$. Rozdíl mezi glaciálními a interglaciálními hodnotami sprašově-paleopůdních vlastností se zvětšil více než rozdíl $\delta^{18}\text{O}$. Glaciální hodnoty sprašově-paleopůdních vlastností byly ovlivňovány kolísáním CO₂ více než interglaciální. Hlubokomořský $\delta^{18}\text{O}$ a přirozený půdní CaCO₃ nejspolehlivěji zaznamenaly přechody mezi glaciály a interglaciály. Počátek interglaciálu je přesněji předpověditelný než počátek glaciálu, protože nízké interglaciální obsahy půdního CaCO₃ nesouvisí s proměnlivostí CO₂ ani $\delta^{18}\text{O}$, ale obsah půdního CaCO₃ > 2 % jejich proměnlivost naznačuje. Přirozená proměnlivost holocenních proxy dat se jeví vhodná k odhadům následujících environmentálních změn.

Key words: environmental changes, Holocene, magnetic susceptibility, soil carbonate

INTRODUCTION

Quaternary is characteristic by cyclic alternations of distinct glacial and interglacial environmental changes. Glacial-interglacial cycles are a concourse of climate and sedimentation changes. The concourse of environmental property changes was not invariable during particular Quaternary glacial-interglacial cycles. Changes of environmental properties caused correlations of sediment forming (Bokhorst et al., 2009). Discrimination of significantly correlating environmental properties and analysis of concurrent variability are crucial for transition probability estimation

between global warming and cooling (Ganopolski et al., 2016). Glacial-interglacial transitions are caused by orbital forcing, atmosphere chemical composition changes and surface feedbacks in planetary albedo (Paillard, 1998). The Quaternary glacial-interglacial cycles were characteristic by periodic glaciation and prevailing terrestrial clastic sedimentation. World-wide prevalence of clastic sedimentation increased correlations among fluctuations of marine and terrestrial sediment properties (Maher, 1998). The correlations enhanced the accuracy of particular environmental cycle course change estimations (Ganopolski et al., 1998).

Glacial-interglacial course analysis requires the division of the Quaternary period into mutually differing sub-periods and the selection of correlating proxy data (Berger, 1992). Over the Quaternary period 2.6 Ma, ten megacycles of environmental changes have been identified (Kukla and Čílek, 1996). Every megacycle (MC) includes several supercycles (SC). SC is a period of unrepeatable glacial and interglacial alternation (Berger and Yin, 2012). The Quaternary environmental change megacycles were divided into two relatively abrupt transitions: the major northern hemisphere Plio-Pleistocene glaciation (PPG; 2.6–1.4 Ma) and the mid-Pleistocene transition (MPT) of dominant glacial periodicity 41 ka to ~100 ka (Raymo et al., 2006). During the PPG, glacial intensity gradually increased, whereas the interglacial period length declined before ~1.4 Ma. The MPT included by 41-ka glacial period stabilisation and uncorrelated mitigation of obliquity forcing (Lisiecki and Raymo, 2007).

The Late Quaternary, which has been under way for the past 800 ka, consists of two periods of various differences between glacial and interglacial sedimentary proxy data: 800–417 ka (MIS 20–2) and 417–ka (MIS 11–1) (Masson-Delmotte et al., 2010). The marine isotopic stages (MIS) 11–1 began by an increase in the differences between glacial and interglacial periods (Jouzel et al., 2003). Constant orbital perturbations extended the predictability of MIS 11–1 (Ganopolski and Calov, 2011). Increased variation in sedimentation rates is reflected in cyclic deviations in the properties of the dominant Quaternary deposits, with rapid variability caused by changes in ocean circulation in response to meltwater events (Kageyama et al., 2010). Concurrence of temperatures in the North Atlantic and around Greenland increased correlations between terrestrial sedimentation intensities in all Arctic areas (Jakobsson et al., 2010). Similarly, climate variability in the Central European loess belt and the Chinese Loess Plateau was of similar frequency (Kukla and Čílek, 1996), resulting in a correlation between European continental glaciation and peak loess deposition on the Tibetan Plateau (Pécsi, 1990).

Cyclic changes in Quaternary environmental properties affect correlations at higher or lower ice core, loess and deep-sea proxy data values. Antarctic ice cores preserve trapped air indicating temperature fluctuations and greenhouse gas interrelationships (Jouzel et al., 2007; Wolff et al., 2010; Shakun et al., 2012). Fluctuations in ice-core greenhouse gas concentrations correlate with global marine regression/transgression, cyclic changes in northern hemisphere glaciation and terrestrial sedimentary distribution. Likewise, increases in sea-salt concentration correlate with sea regression, while NO_3^- and Cl^- content indicates ice sheet propagation and an increase in non-sea salt and Ca and SO_4^{4-} indicate extension of the terrestrial environment (Wolff et al., 2010). Correlations between soil magnetic susceptibility (MS) and $\delta^{18}\text{O}$ in deep-sea sediments also indicate the global impacts of Quaternary environmental changes (Kukla, 1978), though differences in the stability of terrestrial and marine environments influences both the rate of climate change and its intensity. $\delta^{18}\text{O}$ follows glacial-interglacial cycle, when $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio increases during glacial marine regression and decreases during interglacial

transgression (Lea et al., 2000). Using deep-sea sediments, five glacial-interglacial cycles were registered during the last half million years while terrestrial sediments registered only two (Kukla, 2005). Further, while Quaternary terrestrial sedimentation megacycles were preconditioned by tectonic movement (Kukla and Čílek, 1996), $\delta^{18}\text{O}$ fluctuations were conditioned by obliquity and precession orbital forcing (Lisiecki and Raymo, 2007).

The course of the Late Quaternary glacial-interglacial cycles prefigures present natural environment variability (Rahmstorf, 2002; Clark et al., 2002; Shakun et al., 2012). Hence, comparisons of Quaternary and recent sedimentary properties provide a wide knowledge base for estimating courses in environmental changes (Anderson et al., 2013). In this study, we investigate variability in sedimentary proxy data, identified through comparisons of individual supercycle models. Two marginal levels of opposing values define glacial-interglacial sedimentary properties during a supercycle, with the sediment-environment relationship between two marginal conditions serving as a fundamental assumption for logistic regression, which provides an effect occurrence probability estimation (Menard, 2000). Each glacial-interglacial cycle consists of unrepeatable phases of glaciation and deglaciation, with glaciation representing a so-called glacial period, while deglaciation represents the start of an interglacial period. Period alternations are manifested by correlation proximity changes in sediment formation (Ganopolski et al., 2016).

Quaternary environmental changes are initiated by orbital forcing which afflict atmosphere-ocean circulation and cause global cooling or warming. Glacial conditions differed from interglacial by limit atmospheric CO_2 concentrations. CO_2 is key environmental indicator of climatic changes and of substance sequestration (Walz, 2000). The CO_2 content in the ice cores is preserved sample of atmosphere from each Quaternary period, when fluctuated due to environmental changes. As such, the ice core CO_2 is the most important of the glacial-interglacial cycle indicators (Lüthi et al., 2008). CO_2 concentration contributes to warming and the increasing temperature causes CO_2 release. While fluctuation of CO_2 directly influence greenhouse effect as well as carbon-cycling changes, Quaternary surface temperature, affecting range and velocity of sediment forming, is obtained mediately from isotopic signals (Petit et al., 1999). Despite of the feedback between CO_2 and temperature, its effects are not evident at the same time because increasing CO_2 affects temperature after millennial delay (Fischer et al., 2010). The CO_2 release under increasing temperature is simultaneous as effect of ecosystem respiration (Mora et al., 2013). From this point of view, the CO_2 concentration was defined as a dependent variable at logistic regression, with an increase due to respiration and a decrease reflecting an overall decline in biological activity (Schmittner and Galbraith, 2008). Dependent variable CO_2 allowed derivation of glacial-interglacial phases from sediment properties. Minimal CO_2 concentrations occurred during glacials, while maximal CO_2 concentrations during interglacials. Presence of two limit values in CO_2 concentration during supercycle was used as condition for simplification to probability values (Veres et al., 2013).

Correlation variability between individual phases suggests the difference between terrestrial glacial sedimentation maxima and soil development interglacial maxima (Maher et al., 2003).

MATERIAL AND METHODS

Processing framework

Late Quaternary glacial-interglacial variability was investigated using regression models comparing proxy data for the supercycles between 417 and 0 ka (glacials E–A and MIS 11–1). The regression modelling was divided to exploratory analysis and trend analysis. Period length was adjusted based on reconstructions of ice-core CO₂ and deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ fluctuations (Vimeux et al., 1999). MIS 11–1 includes the Saalian (SC3 417–126 ka), Weichselian (SC2 126–12 ka) and Holocene supercycles (SC1 12–0ka) (Kukla, 2005). Proxy data were divided into sedimentary property predictors and outer conditions, with sedimentary properties represented by deep-sea and loess records and outer conditions derived from geochemical ice core records (Blunier et al., 2004). Exploratory analysis was used to ensure data standardisation and to obtain data distribution limits for modelling. Trend analysis focused on obtaining statistically significant relationships from the proxy data and supercycle variation, the latter investigated through logistic regression. Logistic regression characterised the probability of sedimentary property value of being either glacial or interglacial (Sandel et al., 2011). The logistic model included predictor correlation level (with outer conditions) and variability of the parameters modelled. The correlation characterised concurrence variability between sedimentary property and outer conditions. The parameters characterised sedimentary property proportion among the glacial-interglacial cycle phases. The phases were distinguished through a comparison of the regression model outer conditions (Jones and Mann, 2004). Increasing or decreasing model parameters between successive supercycles suggest the trend in glacial-interglacial variability (Bailey et al., 2003).

Data

Proxy data were obtained from the Paleoclimate Program of the National Oceanic and Atmospheric Administration database (www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets). Outer conditions were characterised by CO₂ concentrations from the East-Antarctic Vostok ice core (78°28' S, 106°48' E; 3488 m a.s.l.), which covers the period 417–0 ka (Petit et al., 1999), and reconstructed temperature deviations (ΔT) of polar, temperate and tropical areas (Pailler and Bard, 2002; Jakobsson et al., 2010). The CO₂ data and the dating method were taken from Petit et al. (1999, 2000). Temperature deviations were derived from variations in the proportion of isotopic precipitation from the Vostok ice core, with the ΔT population dated under polar conditions taken according to Blunier et al. (2004). The ΔT population under temperate conditions was taken from North-Atlantic sea surface temperature (SST) re-

construction via carbon isotopes of biogenic sediments (37°45' N, 10°10' W; 3135 m w.d.) from 108–1 ka, according to Bard et al. (2004). The ΔT population for tropical conditions was taken from SST reconstructed from Mg/Ca and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ correlations in deep-sea organodetritic muds of the Ontong Equatorial East Pacific Basin (0°19' N, 159°21' E; 2520 m w.d.) for 470–4 ka, according to Lea et al. (2000).

Sediment characteristics were represented by deep-sea mud and terrestrial loess-paleosol sequence (LPS) records. Deep-sea muds bear $\delta^{18}\text{O}$ reflecting environmental change impacts on sedimentation (Lisiecki and Raymo, 2007). Evaluation of the impacts was carried out through standardised $\delta^{18}\text{O}$ from the Ontong Pacific Basin (Lea et al., 2000) using the formula:

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{R}{R_{\text{PDB}}} - 1 \right) * 1000,$$

where R is the stable oxygen isotopic $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ concentration ratio for the location investigated; R_{PDB} is the standard oxygen isotopic concentration ratio of fossil *Belemnitella americana* inner carbonate structures from the Pee Dee Formation. $\delta^{18}\text{O}$ at Ontong Basin was obtained from deposited planktonic foraminifera *Globigerinoides ruber* shells indicating SST (Rosenthal et al., 2000). The Pee Dee Belemnite (PDB) is a universal standard of stable isotope concentrations at the peak of global warming during Alpine tectogenesis. PDB was used for comparison of global change between sea carbonate precipitation and terrestrial sedimentation (Coplen, 1994). Loess-paleosol sequences were characterised through MS, quartz grain size median (GSM) and CaCO₃ content in paleo-magnetically dated Lingtai section profiles from the southern margin of the Chinese Loess Plateau (35°04' N; 107°39' E; 1350 m a.s.l.) covering the period 420–0 ka, according to Sun et al. (2010). MS and GSM represent physical properties from the LPS. CaCO₃ content was used as a discriminating chemical property of loess and soil forming conditions (Maher et al., 2003).

Regression modelling

Regression analysis consists of linear and logistic model optimisation at $P < 0.05$. In our case, the ΔT and sedimentary property records were linearly interpolated toward CO₂ concentration (Heikkinen et al., 2006). Exploratory analysis included tests for normality, proxy data standardisation, tests for Late Quaternary phase discrimination and regression diagnostics. The normality test was carried out by comparing elevation (E_1) and skewness (A_1) criteria with the critical quantile 1.96 (Zar, 1994). Data with affected normality were standardised through Box-Cox transformation (Osborn, 2010). Regression diagnostics included Scott's test for multicollinearity (St), Cook-Weisberg's test for heteroscedasticity (C-W) and Wald's test for residual correlation (Wa) (Meloun et al., 2002).

Usability of the outer conditions for glacial-interglacial cycle phase discrimination was tested by analysing the regression between CO₂ and ΔT . The aim of the test was to confirm the role of CO₂ as a global indicator of

environmental change (Jones et al., 2001), with corroboration being based on an estimation of common probability indifference for ΔT from different areas during the glacial-interglacial transition. Corroboration was obtained through global linear modelling (GLM) and logistic regression. Linear regression equations with highest and lowest elevations distinguished those regions with variable temperature deviations. The CO_2 linear estimation parameter and elevation differences were tested through F -tests on regression model multivariate comparisons (Zar, 1994). The highest and lowest deviation ratios ($T_{\text{trop}}/T_{\text{polar}}$) were compared with the marginal values for CO_2 concentration through logistic regression. Marginal CO_2 values were transformed into closed intervals $<0;1>$, where lowest glacial CO_2 concentration equals 0 and the highest interglacial CO_2 concentration equals 1 (Pastor-Barriuso et al., 2003), using the formula:

$$\hat{Y} = \frac{e^{ax+b}}{1+e^{ax+b}},$$

where $\hat{Y}$ is the probability approximation of the dependent variable's classification between the glacial and interglacial periods; x is the sedimentary CO_2 property value; a is the regression parameter and b is the elevation of the linear equation.

Trend analysis consisted of exploratory GLM and evaluation of logistic regressions. Regression models were compared using the Akaike information criterion (AIC), with the lowest AIC detecting the optimal regression model. Exploratory GLM was used for selecting significant links within proxy data for the whole Late Quaternary (Kukla, 1978), selection being based on significance level agreement between sediment correlations and outer conditions. Correlations for outer conditions were obtained from sediment properties and CO_2 , the sediment correlations being obtained from the loess-paleosol and $\delta^{18}\text{O}$ proxy data (Kukla, 2005). Logistic regressions were optimised between CO_2 and selected significantly correlating sediment properties for each supercycle. Atmospheric CO_2 content varied between 175 and 287 ppm during the Saalian supercycle, 188 and 277 ppm during the Weichselian supercycle, and 182 and 285 ppm during the Holocene. The trend in sediment property variability was evaluated through regression function parameters and correlation indices, the indices (I_{xy}) characterising any increase or decrease in outer conditions and concurrent sediment variability (Menard, 2000).

RESULTS

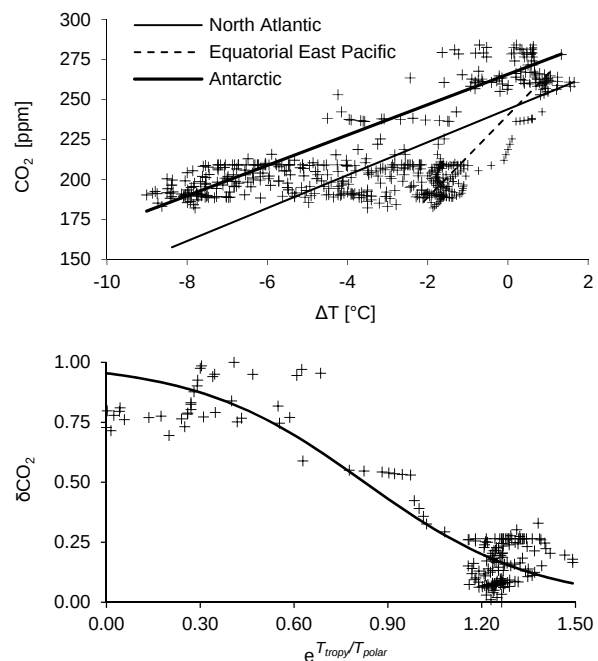
There was a statistically significant relationship between marine mud and loess-paleosol properties and changes in outer conditions during the Late Quaternary. While the relationship between sediment properties and outer conditions was significant in some supercycles, the values differed in variance. Atmospheric CO_2 variability influenced sediment properties worldwide; however, while there was a parallel relationship between CO_2 variability and ΔT between Antarctica and the North Atlantic, the tropics

showed greater variability. Though the CO_2 and North Atlantic ΔT relationship had a low I_{xy} , it showed poor heteroscedasticity (Tab. 1). In general, interglacials are characterised by greater temperature differences between tropical and polar areas, the temperature difference being wider when CO_2 concentrations are lower. Glacial periods, on the other hand, are distinguished by both an increase in the $T_{\text{trop}}/T_{\text{polar}}$ ratio (> 0.82) and a decrease in temperature deviation in the North Atlantic ($< 0.20^\circ\text{C}$), equatorial East Pacific ($< 0.63^\circ\text{C}$) and Antarctica ($< -0.70^\circ\text{C}$; Fig. 1).

Table 1. Linear dependence of atmospheric CO_2 concentration on temperature deviations. a – regression parameter; b – regression elevation; I_{xy} – regression index; F – Fischer-Snedecorov's test; St – Scott's test; $C-W$ – Cook-Weisberg's test; Wa – Wald's test.

Region	a	b	I_{xy}	F	St	$C-W$	Wa
North Atlantic	10.31	243.96	0.77	179.97	-0.91	0.36	496.47
East Pacific	25.75	240.23	0.92	785.70	-0.91	18.31	1276.55
Antarctis	9.50	265.76	0.94	101.23	-0.83	14.05	214.69
Tropical/polar	-3.70	3.50	0.92	778.02	-0.18	16.75	310.96

Figure 1. Relationships between temperature and CO_2 among polar (Antarctic), temperate (North Atlantic) and tropical (Pacific) regions through linear (above) and logistic (below) regression.



Variances within marine $\delta^{18}\text{O}$ and loess-paleosol proxy data indicate variability of the CO_2 . Normality of data distribution affected recognition unicity of concurrent variability between sedimentary properties and CO_2 . Only the $\delta^{18}\text{O}$ exhibited a normal distribution; both LPS physical properties and, especially, CaCO_3 display a shift away from normality. All sedimentary properties were significantly correlated with CO_2 , though the correlations differed by proximity level and heteroscedasticity. Overall, $\delta^{18}\text{O}$ provided the best atmospheric CO_2 estimation ($I_{xy}=0.69$; $\text{AIC}=9.32$). LPS physical properties

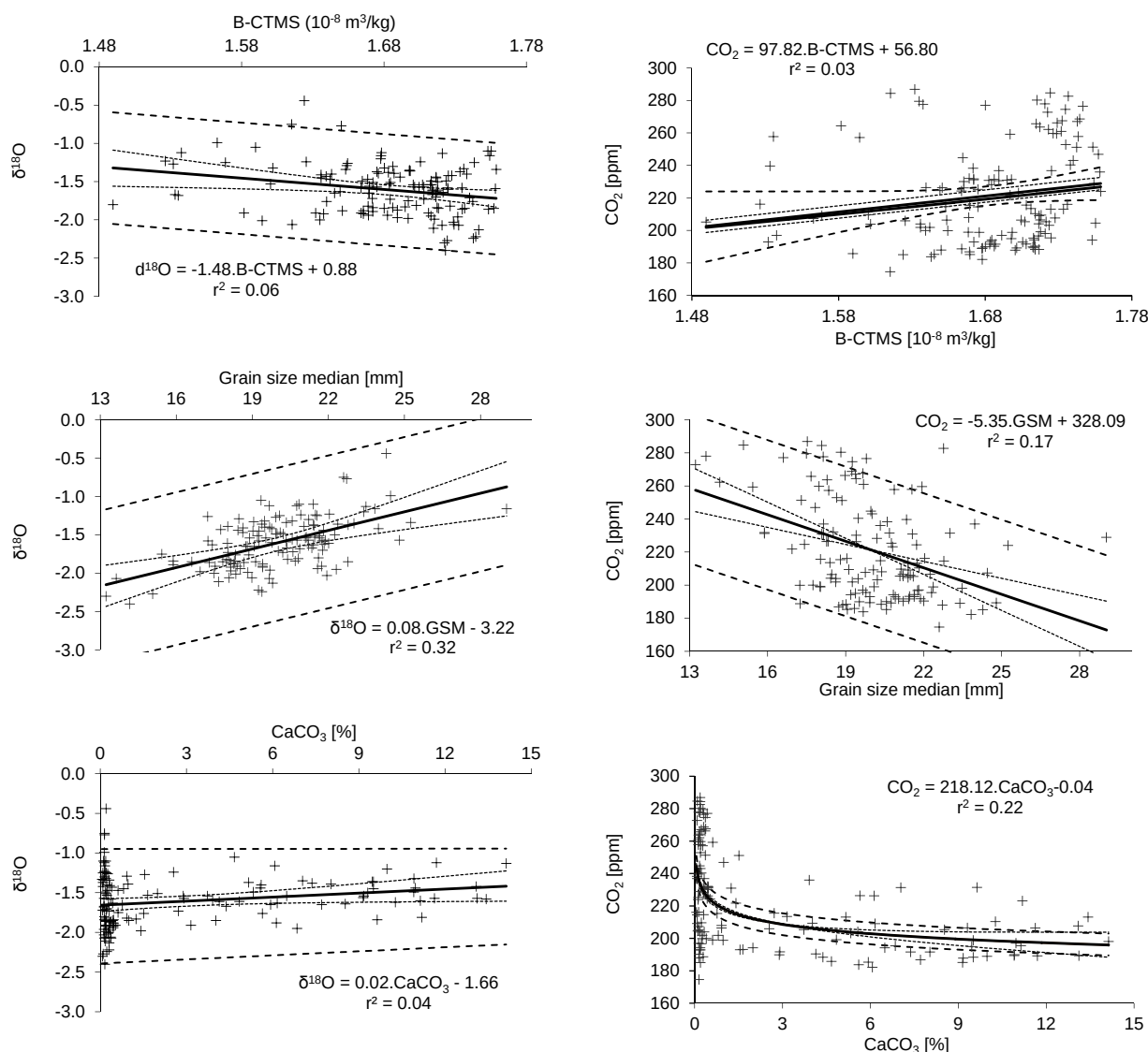
showed a stronger correlation with deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ than atmospheric CO_2 . In contrast, loess CaCO_3 was more closely correlated to CO_2 than $\delta^{18}\text{O}$. Though CaCO_3 correlations showed marked heteroscedasticity, they showed a stronger relationship with outer conditions than terrestrial sediment properties. GSM correlated better with CO_2 and $\delta^{18}\text{O}$ than MS (Tab. 2). The most frequent GSM (17–22 μm) occurred during a -1 to -2.5‰ values of $\delta^{18}\text{O}$ and occurred independently of CO_2 content. The most

frequent MS ($1.67\text{--}1.76 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) was observed during a $\delta^{18}\text{O}$ values of -1 to -2‰ . Low CaCO_3 content showed no relationship with variability in CO_2 or $\delta^{18}\text{O}$. Only at levels $> 2\%$ did content of CaCO_3 occur over a narrow atmospheric CO_2 interval (180–240 ppm) and at $\delta^{18}\text{O}$ values between -1 and -2‰ . Heteroscedasticity within the correlations for CaCO_3 content in LPS and outer condition properties suggest differing relationships within these two classes (Fig. 2).

Table 2. Comparison between linear dependences of atmospheric CO_2 and ocean $\delta^{18}\text{O}$ on loess-paleosol sequence properties. MS – magnetic susceptibility; GSM – grain size median; CaCO_3 – soil calcium carbonate. E – elevation; A – skewness; B-C – Box-Cox transformation; F – Fischer-Snedecorov's test; AIC – Akaike information criterion; St – Scott's test; C-W – Cook-Weisberg's test; Wa – Wald's test.

y	x	E	A	B-C	F	I_{xy}	AIC	St	C-W	Wa
CO_2	MS	0.11	0.69	-0.54	4.26	0.18	9.87	0.28	0.00	354.06
	GSM	1.77	0.17	0.94	26.74	0.41	9.74	-0.68	0.03	206.37
	CaCO_3	0.22	1.25	-5.26	34.47	0.47	9.68	-0.98	10.53	215.79
	$\delta^{18}\text{O}$	0.55	0.31	-	123.95	0.69	9.32	-0.08	0.45	135.36
$\delta^{18}\text{O}$	MS				8.24	0.24	2.01	0.28	0.67	177.82
	GSM				61.48	0.57	1.73	-0.42	3.49	83.68
	CaCO_3				5.78	0.21	2.03	-0.99	12.34	203.67

Figure 2. Relationships of loess-paleosol proxy data with ocean $\delta^{18}\text{O}$ (left) and atmospheric CO_2 (right).



Correlation levels between sedimentary properties and atmospheric CO₂ changed gradually over the glacial-interglacial transitions, with the significant relationship for $\delta^{18}\text{O}$ being most stable over the supercycles and those for MS, CaCO₃ content and $\delta^{18}\text{O}$ showing an increasing trend. MS and GSM showed a poorer correlation with CO₂ than the other proxy data in the Saalian to Weichselian supercycles. While MS showed least significant variability between the Saalian and the Weichselian supercycles, it had higher significance than GSM during the Holocene. Variability in CaCO₃ was more significant than GSM, while MS, CaCO₃ and $\delta^{18}\text{O}$ all showed a stronger relationship with CO₂ during the Holocene than in previous supercycles. The relationship with CO₂ during the Holocene decreasing in the order $\delta^{18}\text{O} > \text{CaCO}_3 > \text{MS}$ (Tab. 3).

MS was directly proportional to differences between glacial-interglacial cycle phases; GSM, CaCO₃ and $\delta^{18}\text{O}$, on the other hand, were all indirectly proportional to the same degree. Between the Weichselian and Holocene supercycles, glacial MS decreased, glacial GSM increased and glacial CaCO₃ content remained steady. At the same time, glacial $\delta^{18}\text{O}$ decreased to levels similar to those found during the Saalian supercycle. During the Holocene, CaCO₃ content and GSM size in the loess-paleosol sequence was lower, MS higher and decrease of the $\delta^{18}\text{O}$ is definiteness. In general, MS tended to overestimate the lowest and underestimate the highest CO₂ concentrations. Soil CaCO₃ tended to underestimate Holocene atmospheric CO₂ content much less than MS, but more than $\delta^{18}\text{O}$, though not significantly so (Fig. 3).

DISCUSSION

The Late Quaternary was typified by the stable composition of sedimentary properties that reflect changes in CO₂ concentration; these changes, however, were recorded with variable level. Change in glacial-interglacial cycle trend and predictability of the next cycle has occurred. Each supercycle was characterised by unrepeated deviations in the development of sedimentary proxy data. Marine $\delta^{18}\text{O}$ and soil CaCO₃ recorded CO₂ variability most accurately. $\delta^{18}\text{O}$ variability was influenced more by glacial-interglacial cycles than loess-paleosol sequences. Correlation level between $\delta^{18}\text{O}$ and CaCO₃ was closer than between $\delta^{18}\text{O}$ and MS, however, it was closest with loess GSM. In contrast, the correlation levels between GSM and CaCO₃ to CO₂ were not only similar, but closer than MS to CO₂, although, correlations of MS and deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ occurred at the whole Late Quaternary, their proximity has increased in the Weichselian and the Holocene cycles.

The Late Quaternary differs from previous glacial-interglacial periods by the increased correlations between atmospheric CO₂ and carbon at terrestrial sediments (Jouzel et al., 2007). Similarly, the increasing correlation levels between CO₂ and LPS properties as well as deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ during each supercycle suggest variable dependences of soil properties on environmental changes. Correlation levels of $\delta^{18}\text{O}$, MS and CaCO₃ rose continuously, but the correlation of loess medium grain varied cyclically. MS was least significant between the Saalian and Weichselian supercycles,

whereas GSM was least significant during the Holocene. Although GSM and CaCO₃ were significantly concurrently variable during the Saalian supercycle, the concurrent variabilities of MS and CaCO₃ were most significant during the Holocene. $\delta^{18}\text{O}$, MS and CaCO₃ were more dependent on CO₂ in the Holocene than in longer and less distinct cycles. The Holocene was characterised by shortening of the cycles and by increase in the differences of soil MS and CaCO₃ between cold and warm periods (Maher et al., 2003). The $\delta^{18}\text{O}$ variability was more similar to CO₂ than soil CaCO₃, because $\delta^{18}\text{O}$ and CO₂ both depend on global temperature deviations. Simultaneously, CO₂ as greenhouse gas is predictor of temperature and planktonic $\delta^{18}\text{O}$ fluctuations (Barker and Elderfield, 2002). While CaCO₃ as well as CO₂ are compounds in carbon cycle, the CaCO₃ variability is more affected by inner-soil weathering and acidification than by precipitation from calcium and organic substance residuals (Fujii et al., 2012). Carbon input from atmosphere or biomass into soil is related with organic acid production, which dissolve soil CaCO₃. On one hand, higher atmospheric CO₂ concentration reduces soil CaCO₃ content on the other hand, CaCO₃ precipitation occurs after atmospheric CO₂ decrease (Gattuso et al., 1998; Fenn et al., 2006; Mora et al., 2013). Variability in MS was conditioned by drying, which is related to warm periods during the Holocene (Bokhorst et al., 2009).

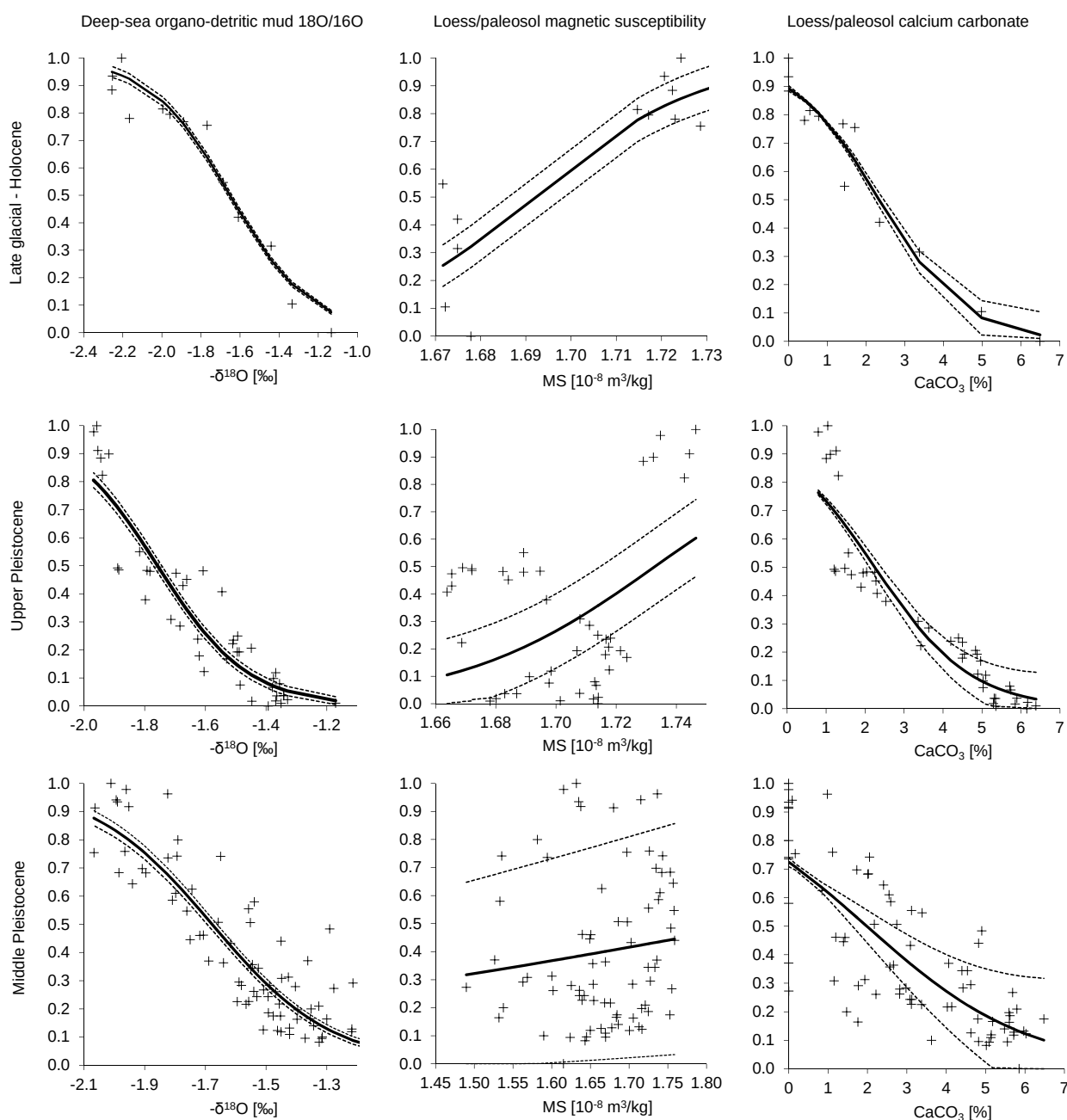
The proxy data indicates features of environmental change intensity. Although increasing amplitude of the precession and obliquity periodicities divides Late Quaternary into two periods of MIS 20–12 and MIS 11–1, the expanding obliquity amplitude effects on the stage division to shortening supercycles (Masson-Delmotte et al., 2010). Unrepeatable variability in the logistic regressions corroborated division of MIS 11–1 into three supercycles. The supercycle shortening was accompanied by an increase in the difference between glacial and interglacial sedimentary property values. A decrease in the proxy data values between two subsequent glacial periods was accompanied by a CO₂ dependence increase and vice versa. The difference between glacial and interglacial MS values in LPS, soil CaCO₃ and deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ all increased simultaneously. Differences in loess proxy data values increased more than in sea muds. Differences among variabilities of $\delta^{18}\text{O}$ and LPS properties increased. Differences between glacial and interglacial $\delta^{18}\text{O}$ values decreased, but differences of soil CaCO₃ values increased.

Different correlations of soil physical properties and CaCO₃ in LPS to $\delta^{18}\text{O}$ or CO₂ suggest that outer conditions influence particular soil properties variously. The LPS physical properties are more influenced by surface temperature than CaCO₃. Natural soil CaCO₃ content is highest at low atmospheric CO₂ levels, but it is uncorrelated to CO₂ during warm interglacials. However, MS, CaCO₃ and $\delta^{18}\text{O}$ succeed concurrently correlating variability with glacial-interglacial cycle alternation. Differences in MS between the Saalian and Holocene supercycles increased more than differences in CaCO₃, with CaCO₃ variability more similar to $\delta^{18}\text{O}$ than MS. However, various soil CaCO₃ content related to CO₂ differently. Content of CaCO₃ > 2% was more influenced by outer conditions.

Table 3. Glacial event indication through logistic regression of sedimentary properties in Late Quaternary supercycles.
u – quantile value; *SD* – standard deviation; *Y* – dependent property quantile; *AIC* – Akaike information criterion; *a* – regression parameter; *b* – regression elevation; *I_{xy}* – regression index.

Supercycle	Predictor	$\bar{u} \pm SD$	$u_{min} - u_{max}$	Glacial	$\bar{Y}_{min} - \bar{Y}_{max}$	AIC	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>I_{xy}</i>
Holocene	$\delta^{18}O$	-1.82 ± 0.37	$-2.26 - -1.13$	≤ -1.67	190–280	4.09	-4.87	-8.04	0.98
	MS	1.70 ± 0.02	$1.67 - 1.73$	≤ 1.69	208–274	4.25	54.10	-91.52	0.87
	GSM	18.71 ± 3.67	$13.23 - 23.83$	≥ 20.87	201–283	5.14	-0.51	10.66	0.85
	$CaCO_3$	1.81 ± 2.03	$0.00 - 6.49$	≥ 2.40	184–274	4.11	-0.91	2.12	0.97
Weichselian	$\delta^{18}O$	-1.60 ± 0.22	$-1.97 - -1.17$	≤ -1.72	190–260	4.33	-6.73	-11.83	0.93
	MS	1.70 ± 0.02	$1.66 - 1.75$	≤ 1.73	197–242	5.47	31.03	-53.76	0.37
	GSM	20.01 ± 1.83	$15.88 - 24.80$	≥ 17.63	197–244	4.34	-0.31	5.52	0.43
	$CaCO_3$	3.63 ± 1.84	$0.80 - 6.38$	≥ 2.40	191–256	4.31	-0.81	1.82	0.93
Saalian	$\delta^{18}O$	-1.57 ± 0.24	$-2.07 - -1.06$	≤ -1.68	180–273	4.37	-5.04	-8.46	0.89
	MS	1.67 ± 0.07	$1.49 - 1.76$	≤ 1.87	211–225	8.03	2.03	-3.78	0.11
	GSM	20.12 ± 2.23	$15.43 - 29.03$	≥ 17.45	190–240	4.73	-0.16	2.84	0.27
	$CaCO_3$	3.02 ± 2.00	$0.00 - 6.48$	≥ 2.00	186–256	4.47	-0.49	0.97	0.78

Figure 3. Variability of sedimentary proxy data between glacials (0) and interglacials (1) in Late Quaternary supercycles.



While MS and CaCO_3 correlations are driven by rainfall and GSM is driven by wind, their relationships with CO_2 suggest that MS and GSM only showed concurrent variability during the Weichselian and Holocene cycles. Sun et al. (2010) explained changes in the correlation between loess properties and outer conditions on the Chinese Loess Plateau as an effect of differing mineral weathering rates in the sediment. The MS to outer condition correlation increase was caused by precipitation decrease at the glacial and by increase at interglacials there (Maher, 2011). Soil magnetic susceptibility increases when precipitation rises over 200 mm, but CaCO_3 dissolves the most when precipitation rises over 600 mm (Chen et al., 2007).

Correlations in the loess proxy data point not only to changes in the climate but also to changes in regional sedimentation (Maher et al., 2003). Development of LPS is conditioned by ocean circulation, which mitigates cold dry glacials through an increase in precipitation (Guo et al., 1998). While soil development from loess is initiated by rainfall, it occurs as a site-specific process. Site-specific differences in the LPS during particular supercycles are caused by neotectonics, which can alter the range of precipitation-forming circulation (Kukla and Cílek, 1996; Knight, 1999; Varga et al., 2011). Variation between maximum MS in paleosols and minimum MS in loess only occurs in the Chinese, Tadzhikistan and Central-European sequences. In sequences from Siberia, Alaska and Argentina, the relationship is completely opposite, with susceptibility minima in the most developed paleosols (Maher, 1998). Deposition of weakly magnetic dust in different areas has led to differences in glacial and interglacial MS variability (Maher et al., 2002; Bokhorst et al., 2009; Fitzsimmons et al., 2012). Cycles of cold dry glacials and warm wet interglacials have resulted in similar loess-paleosol properties in Central Europe, the Black-sea catchment and the Chinese Loess Plateau (Fitzsimmons et al., 2012). Relationships between LPS and ocean circulation suggest effect of environmental change onto soil development.

Prediction of environmental changes is based on selection of sedimentary properties reflecting natural development in atmospheric CO_2 and on predicted duration estimation. The Holocene proxy data are better for probability predictions of warming or cooling than data from longer supercycles (Berger, 1992). While CO_2 emissions will delay glaciation substantially and will mitigate glacial-interglacial cycle, the trend in supercycle shortening will not be stopped (Ganopolski et al., 2016). Soil properties MS and CaCO_3 naturally vary during ocean circulation fluctuations. However, both glacial MS and CaCO_3 are insufficiently sensitive to precipitation changes, while soil CaCO_3 is more indirectly correlated to CO_2 content. As such, soil proxy data better indicate the initiation of interglacial periods. More significant correlations of MS or GSM to $\delta^{18}\text{O}$ than to CO_2 suggest natural long-term trends in climate system development. The $\delta^{18}\text{O}$ is a complex indicator of climatic change, as it is influenced by the interaction of many climatic compounds, but Holocene terrestrial sediment correlations tend to match CO_2 fluctuations closer. Increasing CO_2 concentrations contribute to non-linear climate system responses that reduce predictability (Lisiecki and Raymo, 2007; Loutre and Berger, 2003;

Kukla and Gavin, 2005). Despite this, the correlations of deep-sea $\delta^{18}\text{O}$, natural soil CaCO_3 and atmospheric CO_2 concentrations appear to be good indicators of a transition between glacial and interglacial.

CONCLUSION

Late Quaternary supercycle shortening was accompanied by an increase in the difference between glacial and interglacial sedimentary proxy data values. The increase between glacial and interglacial data was related to an increase in deep-sea and loess proxy data correlations with atmospheric CO_2 . Correlations between deep-sea $\delta^{18}\text{O}$, MS and CaCO_3 showed a continuously increasing trend, while that for GSM decreased. CO_2 variability was most accurately recorded by the relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and soil CaCO_3 . Increasing significance in relationships among $\delta^{18}\text{O}$, CO_2 and soil CaCO_3 corroborated increasing impacts of environmental changes on carbon cycling. Relationship between soil MS and deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ suggested increasing concurrent variability at sediment-forming processes. The concurrent variability between terrestrial and marine environments suggests that sedimentation is regulated through drying or acidification, respectively. However, the proxy data variability corroborated division of MIS 11–1 into three unrepeatable supercycles. Though, the supercycles were characteristic by stable composition of sedimentary properties correlating with CO_2 , the variable correlation levels limit their reciprocal comparability. The proximity of $\delta^{18}\text{O}$ and MS concurrent variability showed no increase until the Weichselian and Holocene cycles. Holocene proxy data concurrent variability should prove useful as indicator of upcoming environmental change, despite it being the shortest period.

Acknowledgements

The study was supported by the Operational Program Education for Competitiveness – European Social Fund (CZ.1.07/2.2.00/28.0078) of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

REFERENCES

- Anderson, D.–Goulding, A.S.–Parker, A.G., 2013, *Global Environments through the Quaternary. Exploring Environmental Change*. Oxford University Press, Gosport.
- Bailey, N.–Clemens, T.–Lee, J.T.–Thompson, S., 2003, *Modeling soil series data to facilitate targeted habitat restoration: a polytomous logistic regression approach*. *Journal of Environmental Management* 67: 395–407.
- Bard, E.–Menot-Combes, G.–Rostek, F., 2004, *Present status of radiocarbon calibration and comparison records based on polynesian corals and Iberian Margin sediments*. *Radiocarbon* 46: 1189–1203.
- Barker, S.–Elderfield, H., 2002, *Foraminiferal calcification response to glacial-interglacial changes in atmospheric CO_2* . *Science* 297: 833–836.
- Berger, A.L., 1992, *Astronomical theory of Paleoclimates and the last glacial-interglacial cycle*. *Quaternary Science Reviews* 11: 571–581.

- Berger, A.–Yin, Q., 2012, Modeling the Interglacials of the Last 1 Million Years. In: Berger A., Mesinger F., Sijacki D. (eds.) 2012. *Climate Change. Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects*. Springer Verlag, Wien-Heidelberg-New York-Dordrecht-London: 57–64.
- Blunier, T.–Schwander, J.–Chappellaz, J.–Parrenin, F.–Barnola, J.M., 2004, What was the surface temperature in central Antarctica during the last glacial maximum. *Earth and Planetary Science Letters* 218: 379–388.
- Bokhorst, M.P.–Beets, C.J.–Marković, S.B.–Gerasimenko, N.P.–Matviishina, Z.N.–Frechen, M., 2009, Pseudo-chemical climate proxies in Late Pleistocene Serbian-Ukrainian loess sequences. *Quaternary International* 198: 113–123.
- Clark, P.U.–Pisias, N.G.–Stocker, T.F.–Weaver, A.J., 2002., The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change. *Nature* 415: 863–869.
- Chen, X.L.–Fang, X.M.–An, Z.S.–Han, W.X.–Wang, X.–Bai, Y.–Hong, Y., 2007, An 8.1 Ma calcite record of Asian summer monsoon evolution on the Chinese central Loess Plateau. *Science in China (Series D)* 50: 392–403.
- Coplen, T.B., 1994, Reporting of stable hydrogen, carbon and oxygen isotopic abundances. *Pure and Applied Chemistry* 66: 273–276.
- Fenn, M.E.–Huntington, T.G.–McLaughlin, S.B.–Eagar, C.–Gomez, A.–Cook, R.B., 2006, Status of soil acidification in North America. *Journal of Forest Science* 52 (Special Issue): 3–13.
- Fischer, H.–Schmitt, J.–Lüthi, D.–Tschumi, T.–Parekh, P.–Joos, F.–Stocker, T.–Köhler, P.–Völker, C.–Gersonde, R.–Barbante, C.–Le Floch, M.–Raynaud, D.–Barnola, J.M.–Chappellaz, J.–Wolff, E., 2010, The role of Southern Ocean processes in orbital and millennial CO₂ variations – a synthesis. *Quaternary Science Reviews* 29: 193–205.
- Fitzsimmons, K.E.–Marković, S.B.–Hambach, U., 2012, Pleistocene environmental dynamics recorded in the loess of the middle and lower Danube basin. *Quaternary Science Reviews* 41: 104–118.
- Fujii, K.–Funakawa, S.–Kosaki, T., 2012, Soil Acidification: Natural Processes and Human Impact. *Pedologist* 55: 415–425.
- Ganopolski, A.–Calov, R., 2011, The role of orbital forcing, carbon dioxide and regolith in 100 kyr glacial cycles. *Climate of the Past* 7: 1415–1425.
- Ganopolski, A.–Rahmstorf, S.–Petoukhov, V.–Claussen, M., 1998, Simulation of modern and glacial climates with a coupled global model of intermediate complexity. *Nature* 391: 351–356.
- Ganopolski, A.–Winhlmann, R.–Schellnhuber, H.J., 2016, Critical insolation–CO₂ relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature* 529: 200–203.
- Gattuso, J.-P.–Frankignoulle, M.–Bourge, I.–Romaine, S.–Buddemeier, R.W., 1998, Effects of calcium carbonate saturation of seawater on coral calcification. *Global and Planetary Change* 18: 37–46.
- Guo, Z.–Liu, T.–Fedoroff, N.–Weia, L.–Dinga, Z.–Wua, N.–Luo, H.–Zhisheng, A., 1998, Climate extremes in Loess of China coupled with the strength of deep-water formation in the North Atlantic. *Global and Planetary Change* 18: 113–128.
- Heikkinen, R.K.–Luoto, M.–Virkkala, R.–Thuiller, W.–Sykes, M.T., 2006, Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30: 6751–6777.
- Jakobsson, M.–Long, A.–Ingólfsson, Ó.–Kjær, K.H.–Spielhagen, R.F., 2010, New insights on Arctic Quaternary climate variability from palaeo-records and numerical modelling. *Quaternary Science Reviews* 29: 3349–3358.
- Jones, P.D.–Mann, M.E., 2004, Climate over past millenia. *Reviews of Geophysics* 42: RG2002.
- Jones, P.D.–Osborn, T.J.–Briffa, K.R., 2001, The Evolution of Climate Over the Last Millennium. *Science* 292: 662.
- Jouzel, J.–Masson-Delmotte, V.–Cattani, O.–Dreyfus, G.–Fauriol, S.–Hoffmann, G.–Minster, B.–Nouet, J.–Barnola, J.M.–Chappellaz, J.–Fischer, H.–Gallet, J.C.–Johnsen, S.–Leuenberger, M.–Loulergue, L.–Luethi, D.–Oerter, H.–Parrenin, F.–Raisbeck, G.–Raynaud, D.–Schilt, A.–Schwander, J.–Selmo, E.–Souchez, R.–Spahni, R.–Stauffer, B.–Steffensen, J.P.–Stenni, B.–Stocker, T.F.–Tison, J.L.–Werner, M.–Wolff, E.W., 2007, Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years. *Science* 317: 793–797.
- Jouzel, J.–Vimeux, F.–Caillon, N.–Delaygue, G.–Hoffmann, G.–Masson-Delmotte, V.–Parrenin, F., 2003, Magnitude of the isotope-temperature scaling for interpretation of central Antarctic ice cores. *Journal of Geophysical Research* 108: 1029–1046.
- Kageyama, M.–Paul, A.–Roche, D.M.–van Meerbeeck, C.J., 2010, Modelling glacial climatic millennial-scale variability related to changes in the Atlantic meridional overturning circulation: a review. *Quaternary Science Reviews* 29: 2931–2956.
- Knight, J., 1999, Geological evidence for neotectonic activity during deglaciation of the southern Sperrin Mountains, Northern Ireland. *Journal of Quaternary Science* 14: 45–57.
- Kukla, J., 1978, The Classical European Glacial Stages: Correlation with deep-sea sediments. *Transactions of the Nebraska Academy of Science* 6: 57–93.
- Kukla, G., 2005, Saalian supercycle, Mindel/Riss interglacial and Milankovitch's dating. *Quaternary Science Reviews* 24: 1573–1583.
- Kukla, G.–Cilek, V., 1996, Plio-Pleistocene megacycles: record of climate and tectonics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 120: 171–194.
- Kukla, G.–Gavin, J., 2005, Did glacials start with global warming? *Quaternary Science Reviews* 24: 1547–1557.
- Lea, D.W.–Pak, D.K.–Spero, H.J., 2000, Climate impact of late Quaternary equatorial Pacific sea surface temperature variations. *Science* 289: 1719–1724.
- Lisiecki, L.E.–Raymo, M.E., 2007, Plio-Pleistocene climate evolution: trends and transitions in glacial cycle dynamics. *Quaternary Science Reviews* 26: 56–69.
- Loutre, M.F.–Berger, A., 2003, Marine Isotope Stage 11 as an analogue for the present interglacial. *Global and Planetary Change* 36: 209–217.
- Lüthi, D.–Le Floch, M.–Bereiter, B.–Blunier, T.–Barnola, J.M.–Siegenthaler, U.–Raynaud, D.–Jouzel, J.–Fischer, H.–Kawamura, K.–Stocker, T.F., 2008, High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature* 453: 379–382.
- Maher, B.A., 1998, Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137: 25–54.
- Maher, B.A., 2011, The magnetic properties of Quaternary aeolian dust and sediments, and their palaeoclimatic significance. *Aeolian Research* 3: 87–144.
- Maher, B.A.–Alekseev, A.–Alekseeva, T., 2002, Variation of soil magnetism across the Russian steppe: its significance for use of magnetism as a paleorainfall proxy. *Quaternary Science Reviews* 21: 1571–1576.
- Maher, B.A.–Meng, Yu H.–Roberts, H.M.–Wintle, A.G., 2003, Holocene loess accumulation and soil development at the western edge of the Chinese Loess Plateau. Implication for magnetic proxies of paleorainfall. *Quaternary Science Reviews* 22: 445–451.

- Masson-Delmotte, V.–Stenni, B.–Pol, K.–Braconnot, P.–Catani, O.–Falourd, S.–Kageyama, M.–Jouzel, J.–Landais, A.–Minster, B.–Barnola, J.M.–Chappellaz, J.–Krienerl, G.–Johnsen, S.–Röthlisberger, R.–Hansen, J.–Mikolajewicz, U.–Otto-Bliesner, B., 2010, EPICA Dome C record of glacial and interglacial intensities. *Quaternary Science Reviews* 29: 113–128.
- Meloun, M.–Militký, J.–Hill, M.–Brereton, R.G., 2002, Crucial problems in regression modelling and their solutions. *Analyst* 127: 433–450.
- Menard, S., 2000, Coefficients of Determination for Multiple Logistic Regression Analysis. *The American Statistician* 54: 17–24.
- Mora, C.–Frazier, A.G.–Longman, R.J.–Dacks, R.S.–Walton, M.M.–Tong, E.J.–Sanchez, J.J.–Kaiser, L.R.–Stender, Y.O.–Anderson, J.M.–Ambrosino, C.M.–Fernandez-Silva, I.–Guisseffi, L.M.–Giambelluca, T.W., 2013, The projected timing of climate departure from recent variability. *Nature* 502: 183–187.
- Osborn, J.W., 2010, Improving your data transformation: Applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research & Evaluation* 15: 2–9.
- Paillard, D., 1998, The timing of Pleistocene glaciations from a simple multiple-state climate model. *Nature* 391: 378–381.
- Pailler, D.–Bard, E., 2002, High frequency paleoceanographic changes during the past 140,000 years recorded by the organic matter in sediments off the Iberian Margin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 181: 431–452.
- Pastor-Barriuso, R.–Guallar, E.–Coresh, J., 2003, Transition models for change-point estimation in logistic regression. *Statistics in Medicine* 22: 114–1162.
- Pécsi, M., 1990, Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International* 7–8: 1–21.
- Petit, J.R.–Jouzel, J.–Raynaud, D.–Barkov, N.I.–Barnola, M.–Basile, I.–Benders, M.–Chappellaz, J.–Davis, M.–Delaygue, G.–Delmotte, M.–Kotlyakov, V.M.–Legrand, M.–Lipenkov, V.Y.–Lorius, C.–Pépin, L.–Ritz, L.–Saltzman, E.–Stievenard, M., 1999, Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429–436.
- Petit, J.R.–Raynaud, D.–Lorius, C.–Jouzel, J.–Delaygue, G.–Barkov, N.I.–Kotlyakov, V.M., 2000, Historical isotopic temperature record from the Vostok ice core. In: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy Oak Ridge.
- Rahmstorf, S., 2002, Ocean circulation and climate during the past 120,000 years. *Nature* 419: 207–214.
- Raymo, M. E.–Lisiecki, L. E.–Nisancioglu, K. H., 2006, Pliocene ice volume, Antarctic climate, and the global $\delta^{18}\text{O}$ record. *Science* 313: 492–495.
- Rosenthal, Y.–Lohmann, G.P.–Lohmann, K.C.–Sherrell, R.M., 2000, Incorporation and preservation of Mg in Globigerinoides sacculifer: implications for reconstructing the temperature and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ of seawater. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 15: 135–145.
- Sandel, B.–Arge, L.–Dalsgaard, B.–Davies, R.G.–Gaston, K.J.–Sutherland, W.J.–Svenning, J.-C., 2011, The Influence of Late Quaternary Climate-Change Velocity on Species Endemism. *Science* 334: 660–664.
- Shakun, J.D.–Clark, P.U.–He, F.–Marcott, S.A.–Mix, A.C.–Liu, Z.–Otto-Bliesner, B.–Schmittner, A.–Bard, E., 2012, Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature* 484: 49–55.
- Schmittner, A.–Galbraith, E.D., 2008, Glacial greenhouse-gas fluctuations controlled by ocean circulation changes. *Nature* 456: 373–376.
- Sun, Y.–An, Z.–Clemens, S.C.–Bloemendal, J.–Vandenberghe, J., 2010, Seven million years of wind and precipitation variability on the Chinese Loess Plateau. *Earth and Planetary Science Letters* 297: 525–535.
- Varga, A.–Újvári, G.–Raucsik, B., 2011, Tectonic versus climatic control on the evolution of a loess–paleosol sequence at Beremend, Hungary: an integrated approach based on paleoecological, clay mineralogical, and geochemical data. *Quaternary International* 240: 71–86.
- Veres, D.–Bazin, L.–Landais, A.–Toyé Mahamadou Kele, H.–Lemieux-Duron, B.–Parrenin, F.–Martinerie, P.–Blayo, E.–Blunier, T.–Capron, E.–Chappellaz, J.–Rasmussen, S.O.–Severi, M.–Svensson, A.–Vinther, B.–Wolff, E.W., 2013, The Antarctic ice core chronology (AICC2012): an optimized multi-parameter and multi-site dating approach for the last 120 thousand years. *Climate of the Past* 9: 1733–1748.
- Vimeux, F.–Masson, V.–Jouzel, J.–Stievenard, M.–Petit, J.R., 1999, Glacial-interglacial changes in ocean surface conditions in the Southern Hemisphere. *Nature* 398: 410–413.
- Walz R., 2000, Development of Environmental Indicator Systems: Experiences from Germany. *Environmental Management* 25: 613–623.
- Wolff, E.F.–Barbante, C.–Becagli, S.–Bigler, M.–Boutton, C. F.–Castellano, E.–de Angelis, M.–Federer, U.–Fischer, H.–Fundel, F.–Hansson, M.–Hutterli, M.–Jonsell, U.–Karlin, T.–Kaufmann, P.–Lambert, F.–Littot, G.C.–Mullaney, R.–Röthlisberger, R.–Ruth, U.–Severi, M.–Siggaard-Andersen, M.L.–Sime, L.C.–Steffensen, J.P.–Stocker, T.F.–Traversi, R.–Twarloh, B.–Udisti, R.–Wagenbach, D.–Wegner, A., 2010, Changes in environment over the last 800,000 years from chemical analysis of the EPICA Dome C ice core. *Quaternary Science Reviews* 29: 285–295.
- Zar, J., 1994, *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall Int., New Jersey.

SUCHO V ROKU 2017 V KONTEXTE VÝVOJA SUCHÝCH OBDOBÍ OD ROKU 1981 NA SLOVENSKU

LÍVIA LABUDOVÁ¹, MAROŠ TURŇA¹, NORBERT POLČÁK^{1,2}

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 83315 Bratislava, livia.labudova@shmu.sk, maros.turna@shmu.sk

² Katedra fyzickej geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, norbert.polcak@uniba.sk

Many studies focused on drought have been published since mid-1990s. In the last years, not only interdisciplinary approach, but also effort for operational drought monitoring has been evident. The operational drought monitor in Slovakia has been running since 2015. It helped to monitor and to inform general public about drought development in the last three years. Additionally, it was possible to assess the parameters of the drought in 2017 in the historical context. The drought 2017 was the most outstanding in the surrounding of Bratislava, which was characterized by the longest duration at least since 1981. It was noted in simple water balance within meteorological drought, but also in soil moisture (soil drought). The Palmer's CMI reached its historical minimum in the southwest of Slovakia as well. Drought in 2017 hit also the Danubian Lowland and the Záhorie Lowland.

Od druhej polovice 90-tych rokov vzniklo veľa štúdií zameraných na problematiku sucha. V posledných rokoch je evidentný nielen interdisciplinárny prístup v takýchto štúdiách, ale aj snaha národných inštitútov o operatívne monitorovanie sucha. Na Slovensku je operatívny monitoring sucha v prevádzke od roku 2015. Aj vďaka nemu bolo možné sledovať a aktuálne informovať verejnosť počas suchých období v uplynulých troch rokoch. Taktiež to umožnilo zhodnotiť minuloročné sucho na západnom Slovensku aj z dlhodobého hľadiska. Sucho v roku 2017 bolo najvýraznejšie v okolí Bratislavy, pričom svojou dĺžkou trvania bolo najvýraznejšie minimálne od roku 1981. Prejavilo sa nielen na vlhovej bilancii v rámci meteorologického sucha, ale aj na pôdnej vlhkosti ako pôdne sucho. Svoje absolútne historické minimum na krajnom juhozápade dosiahol aj Palmerov CMI index. Medzi výrazne zasiahnuté regióny patrila aj celá Podunajská a Záhorická nížina.

Key words: drought, SPI, SPEI, drought monitoring

ÚVOD

V súvislosti s klimatickou zmenou a klimatickými scenármi pre 21. storočie sa stále viac hovorí o suchých obdobiach a zmene ich výskytu a parametrov. Viacero štúdií potvrdzuje ich častejší výskyt a zvyšovanie intenzity, príp. predlžovanie ich trvania (Marcos-Garcia et al., 2017). Okrem klasických vedeckých štúdií popisujúcich problematiku sucha v rámci určitého vedného odboru (klimatológia, hydrológia, poľnohospodárstvo), sa v súčasnosti kladie čoraz väčší dôraz na interdisciplinárne prístupy. Z tohto dôvodu pribúdajú aplikačné štúdie skúmajúce vzťah medzi meteorologickým a hydrologickým suchom (Quesada-Montano et al., 2018; Van Loon et al., 2014; Laaha et al., 2015), meteorologickým suchom a výnosmi poľnohospodárskych plodín (Hlavinka et al., 2009; Žalud et al., 2017; Mäkinen et al., 2017; Olesen et al., 2011), či meteorologickým suchom a biodiverzitou, alebo produkciou biomasy (Wang et al., 2018; Chang et al., 2018; Kolář et al., 2017).

Okrem vedeckých štúdií bolo v posledných rokoch vynaložených veľa síl pre vytvorenie operatívneho sledovania a hodnotenia sucha či už na národnej, alebo regionálnej úrovni. Medzi najstaršie monitoriny sucha patrí U. S. Drought Monitor (<http://droughtmonitor.unl.edu/>), ktorý bol založený v roku 1999 a ponúka informácie o aktuálnej situácii na týždennej báze. Na celoeurópskej úrovni beží European Drought Observatory (EDO; <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>), ktorý prevádzkuje Spoločné výskumné centrum Európskej

komisie (EC's Joint Research Centre - JRC). Na regionálnej úrovni už niekoľko rokov funguje DMCSEE (Drought Mitigation Centre for Southeastern Europe; <http://www.dmcsee.org/>), ktoré však nepracuje na operatívnej úrovni, ktorá by poskytovala operatívne informácie s možnosťou predpovede na najbližšie obdobie. Naopak, operatívny charakter zahŕňajúci predpoveď vývoja vlhovej bilancie obsahuje platforma Intersucho (www.intersucho.sk), pre Českú republiku a Slovensko, ale aj monitoring meteorologického sucha, ktorý je prevádzkovaný Slovenským hydrometeorologickým ústavom.

V predkladanom článku je detailne zhodnotený priebeh celého suchého obdobia na základe synoptických podkladov a podkladov z monitoringu meteorologického a pôdneho sucha. Jednotlivé parametre suchého obdobia sú zhodnotené aj vzhľadom na výskyt suchých období v minulosti.

METODIKA

Štandardizovaný zrážkový index a Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index

Štandardizovaný zrážkový index (SPI) vyjadruje relatívne odchýlky úhrnu zrážok v danom období od dlhobehovej strednej hodnoty. Na rovnakom princípe je založený aj štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI). Ten avšak na rozdiel od SPI, ktorý pracuje len s úhrnmi zrážok,

hodnotí jednoduchú vodnú bilanciu (zrážky – potenciálna evapotranspirácia). Evapotranspirácia je proces, ktorý v sebe zahŕňa výpar zo zemského povrchu a transpiráciu rastlín (uvoľňovanie vodnej pary z rastlinného porastu). Potenciálna evapotranspirácia je maximálna možná evapotranspirácia pri daných atmosférických podmienkach, ak voda nie je limitujúcim faktorom.

Obidva indexy majú 30-dňovú kumulatívnu dobu. To znamená, že index vyjadrený pre daný deň určuje odchýlku zrážok, resp. vodnej bilancie daného a predchádzajúcich 29 dní, pričom je aplikované tzv. „kľzavé okno“ na celú dĺžku dátového radu.

Negatívne hodnoty indexov znamenajú suché podmienky, pozitívne naopak vlhké podmienky, pričom ich intenzita je odstupňovaná v jednotlivých stupňoch (Tab. 1). Suché obdobie začína pri poklese hodnôt pod -1 a končí pri jeho výstupe nad hodnotu 0 (Spinoni et al., 2013). Sucho identifikované pomocou SPI, resp. SPEI neznamena, že dané obdobie bolo úplne bez zrážok. Index vyjadruje odchýlku od strednej hodnoty teoretického rozdelenia nameraných hodnôt, a teda deficit, nie úplnú absenciu zrážok.

Pri každom z identifikovaných suchých období sme určili nasledovné parametre: dĺžka trvania, objem deficitu a intenzita sucha (podiel objemu deficitu a dĺžky trvania). Uvedené parametre sme následne hodnotili na úrovni 5-ročných období, aby sme získali ich tendenciu vývoja.

Tabuľka 1. Klasifikácia období podľa SPI a SPEI (McKee et al., 1993).

Table 1. Classification according to the SPI and the SPEI (McKee et al., 1993).

SPI	Charakteristika
2,0 a viac	extrémne vlhké
1,5 až 1,99	veľmi vlhké
1,0 až 1,49	mierne vlhké
-0,99 až 0,99	blízko normálu
-1,0 až -1,49	mierne suché
-1,5 až -1,99	veľmi suché
-2,0 a menej	extrémne suché

Palmerov CMI

Pri tomto indexe sucha sa okrem zrážok a evapotranspirácie, zohľadňuje aj pôdna charakteristika, ktorou je využiteľná vodná kapacita. Informácie o využiteľnej vodnej kapacite pôdy boli poskytnuté Výskumným ústavom pôdoznanectva a ochrany pôdy. Index CMI sa počíta v týždennom kroku, v jednotlivých týždňoch v roku (od pondelka do nedele).

Pri výpočte CMI sa využíva, podobne ako SPEI, vodná bilancia v pôde, teda rozdiel zrážky – potenciálna evapotranspirácia, ktorá je počítaná podľa metódy Thornthwaita. Pri tomto indexe sa určuje aj odtok a prítok vypočítaný za posledný týždeň, a tiež hodnota vlhkosti pôdy na konci predposledného týždňa. Následne z vypočítaných veličín sa výsledný deficit, resp. nadbytok vlhkosti v pôde prevedie do jednoduchej bezrozmernej číselnej hodnoty, ktorá predstavuje mieru intenzity sucha v danej lokalite.

CMI má záporné hodnoty v suchom období a kladné hodnoty vo vlhkom období. Intenzita sucha je klasifikovaná v tabuľke 2.

Tabuľka 2. Klasifikácia obdobia podľa CMI.

Table 2. Classification according to the CMI.

CMI	Charakteristika
3,0 a viac	veľmi vlhké
2,0 až 2,9	vlhké
1,0 až 1,9	mierne vlhké
0,1 až 0,9	začínajúce vlhké
-0,1 až -0,9	začínajúce suché
-1,0 až -1,9	mierne suché
-2,0 až -2,9	suché
-3,0 a menej	veľmi suché

Pôdne sucho –

Intenzita sucha a relatívne nasýtenie pôdy

Podklady k vyhodnoteniu pôdneho sucha boli získané vďaka spolupráci s českými kolegami z Czechglobe, so sídlom v Brne, v rámci monitoringu pôdneho sucha s názvom Intersucho.

Miera intenzity sucha sa posudzuje podľa odchýlky aktuálneho stavu v porovnaní s obvyklými podmienkami v rovnakom ročnom období (± 10 dní od posudzovaného dátumu) v priebehu rokov 1961–2010. Rozlišujeme 7 úrovní intenzity sucha. Normálny stav je bez rizika, intenzita sucha S0 predstavuje len zníženie úroveň vlhkosti v pôde, S1 je začínajúce sucho, S2 mierne sucho, S3 výrazné sucho, S4 výnimočné sucho a S5 je extrémne sucho. Extrémne sucho predstavuje extrémne nízku hodnotu pôdnej vlhky, ktorá sa v danom období v priemere opakuje raz za 100 rokov a súčasne relatívne nasýtenie je nižšie ako 50 % po dobu viac ako jeden mesiac.

Relatívne nasýtenie 100 % predstavuje plnú poľnú kapacitu. Pod 50 % už hovoríme o bode zníženej dostupnosti vody pre koreňový systém rastlín (nedostatok vlhky, stres pre vegetáciu, potrebné je zavlažovanie). Pri nasýtení 0 % hovoríme už o bode vädnutia, pričom rastlina už nie je schopná prijímať vodu svojím koreňovým systémom. Relatívne nasýtenie predstavuje množstvo vody v percentách, ktorá sa nachádza v kapilárach vo vrstve pôdy do hĺbky 100 cm. Pôdny horizont je rozdelený ďalej do dvoch vrstiev, 0–40 cm a 40–100 cm. Relatívne nasýtenie sa mení podľa ročnej doby. Najvyššie hodnoty bývajú spravidla v zime, v chladnom období, keď je nízky výpar a najnižšie sú v letnom období, pri vysokých teplotách vzduchu a vysokom výpore. Piesčité a skeletnaté pôdy majú v priemere nižšie hodnoty využiteľnej vodnej kapacity, preto aj nízke hodnoty relatívneho nasýtenia v oblastiach s takýmto typom pôd sú bežné a od toho závisí potom aj intenzita sucha.

VÝSLEDKY

Meteorologické sucho v monitorovacej sezóne 2017

Indexy SPI a SPEI

Zima 2016/17 – Po zrážkovo nadpriemernom novembri, boli obidva indexy na väčšine Slovenska kladné. Najhoršia situácia bola na konci jesene 2016 vo Švedlári a na Spiši, kde bol SPEI záporný. December bol relatívne najsušší v južnej polovici Slovenska, kde sa to prejavilo na poklese týchto indexov až na hodnoty nižšie ako -2 .

V decembri 2016 prevládali na území Slovenska anticyklonálne poveternostné situácie. Celkom sme zaznamenali až 18 typov anticyklonálnych poveternostných situácií, pričom prevládali západné anticyklonálne situácie (Obr. 1) a anticyklóny nad strednou Európou – preto bol juhozápad Slovenska veľmi suchý.

V južnej polovici Slovenska sa v januári situácia postupne zlepšovala, ale stále na niektorých staniciach (Bratislava, Žihárec a Piešťany) boli indexy záporné. Opačne to bolo na východe Slovenska, kde v januári bolo dostatok zrážok a na Zemplíne a krajnom severovýchode bolo ojedinele mierne vlhko. V januári sme zaznamenali až 22 anticyklonálnych situácií, pričom od 16. až do 31.1. bez prerušenia. V dňoch 19. až 26.1. bola anticyklóna priamo nad strednou Európou.

Vo februári zotrvali indexy záporné stále na juhozápade. Zaznamenali sme až 15 anticyklonálnych situácií, čo je vzhľadom na zvyšujúcu sa dynamiku v atmosfére v miernych zemepisných šírkach v tomto mesiaci neštandardné. Preto sa extrémne suchu krátkodobo vyskytlo aj na severozápade v oblasti Kysúc a Oravy, vzhľadom na nižšie úhrny zrážok, než je klimatický normál v danom období. V priemere najnižšie hodnoty boli počas celej zimy na staniciach Piešťany a Bratislava-letisko.

Jar 2017 – V marci sme evidovali 17 anticyklonálnych situácií. Extrémne suchu sa krátkodobo vyskytlo začiatkom marca v Podolínci. Neskôr sa tu situácia postupne zlepšovala. Na severozápade nastalo takisto zlepšenie podmienok, ale na juhozápade suchu začalo opäť naberať na intenzite. Pokles indexov nastal najmä v Bratislave-letisku, kde na konci marca už hodnoty SPEI dosahovali hranicu $-1,5$, čo predstavuje veľmi suché podmienky. Na konci marca sa vyskytlo až 8 anticyklonálnych situácií za sebou, čo so stúpajúcou teplotou vzduchu, keď v nížinách presahovala teplota vzduchu 20°C , zvyšovalo intenzitu suchu.

V prvej polovici apríla bola na danú ročnú dobu vysoká teplota vzduchu, pričom na juhu sa vyskytli aj letné dni. Maximálna teplota vzduchu za celý apríl bola nameraná práve začiatkom apríla, napr. v Bratislave na letisku $24,0^{\circ}\text{C}$, v Žiharci až $26,2^{\circ}\text{C}$. Prevažne slnečné a suché počasie podporilo zvýšenie výparu. V polovici apríla bola najhoršia situácia v Bratislave-letisku (Obr. 2; hore), Žiharci a Boľkovciach, kde bolo až veľmi suchu.

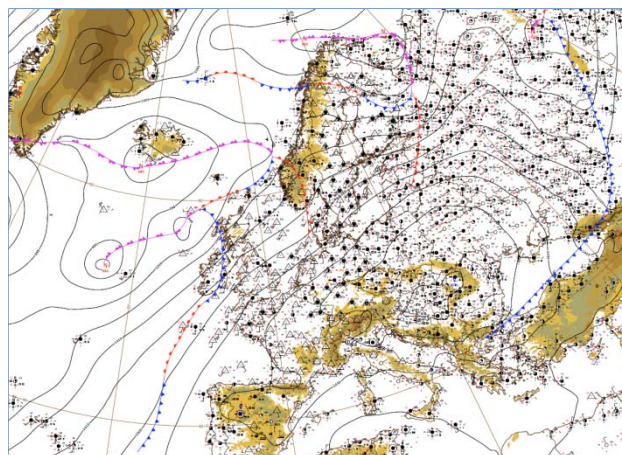
V apríli sa vyskytlo menej dní s anticyklonálnou poveternostnou situáciou (9), pričom v druhej polovici apríla prevládal cyklonálny charakter počasia (Obr. 3). S tým súviselo aj ochladenie, a na väčšine územia boli zaznamenané vysoké úhrny zrážok. Suchu zaniklo takmer všade, len v Bratislave-letisku boli hodnoty od 12. decembra stále záporné. Najviac zrážok bolo na severozápade a na rozhraní západného a stredného Slovenska. Extrémne vlhko na konci apríla bolo na Kysuciach, Orave, ale aj v Žiline a Banskej Štiavnici. V prvej májovej dekáde sa extrémne vlhko vyskytlo aj v okolí Prievidze a Banskej Bystrice. V máji sa postupne otepľovalo. Druhá polovica mája už priniesla na juhozápadnom Slovensku aj tropickú teplotu. Podmien-

ky však boli na konci mája prevažne normálne, prípadne bolo len mierne suchu. Veľmi suchu bolo na Pohroní a Ponitří.

V máji sme zaregistrovali 15 anticyklonálnych situácií, pričom väčšina z nich sa vyskytovala v druhej polovici mája. Poveternostná situácia v závere mája spôsobila vzostup denných maxím v nížinách až nad 30°C , (v Slovenskom Grobe $33,4^{\circ}\text{C}$), čo významne komplikovalo situáciu s výskytom sucha najmä na juhozápadnom Slovensku (Obr. 4).

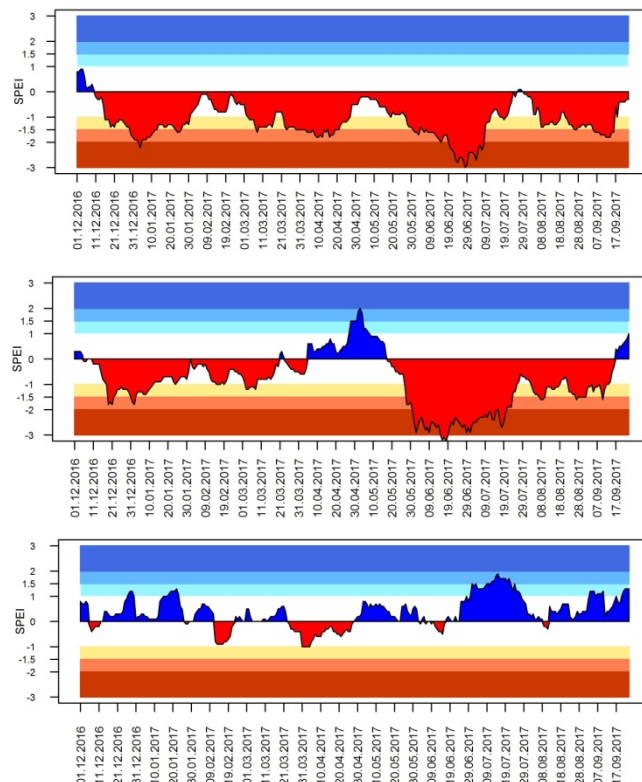
Obrázok 1. Príklad anticyklonálnej poveternostnej situácie nad strednou Európou 7.12.2016 o 12:00 UTC.

Figure 1. The example of anticyclonic weather situation over the Central Europe on 7th December 2016 at 12:00 UTC.



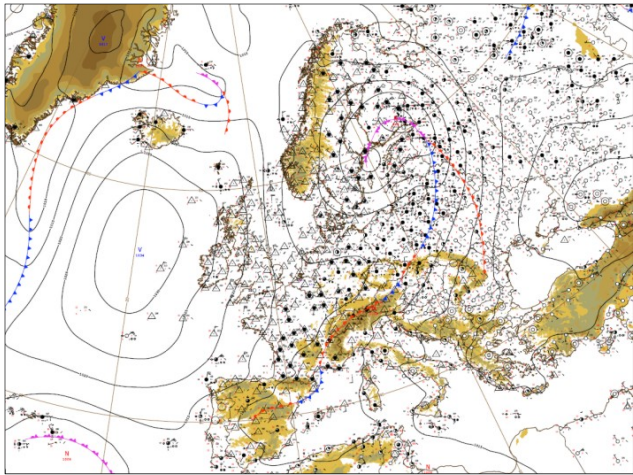
Obrázok 2. Priebeh indexu SPEI v roku 2017 na staniciach Bratislava-letisko (hore), Topoľčany (v strede) a Tisinec (dole).

Figure 2. The SPEI in 2017 in the stations Bratislava-airport (top), Topoľčany (middle) and Tisinec (bottom).



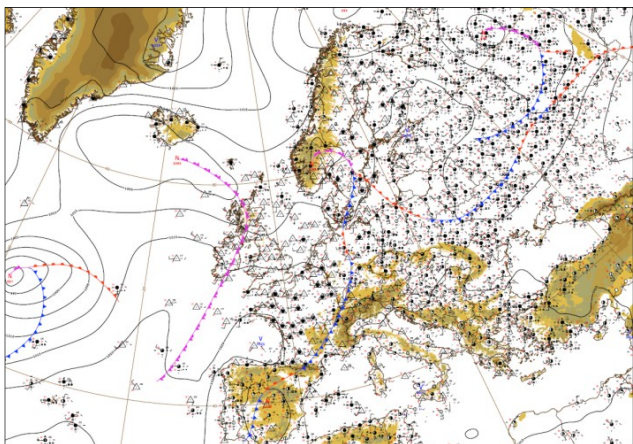
Obrázok 3. Zvltný studený front nad strednou Európou 26. apríla 2017 00:00 UTC.

Figure 3. Stationary cold front over the Central Europe on 26th April 2017 at 00:00 UTC.



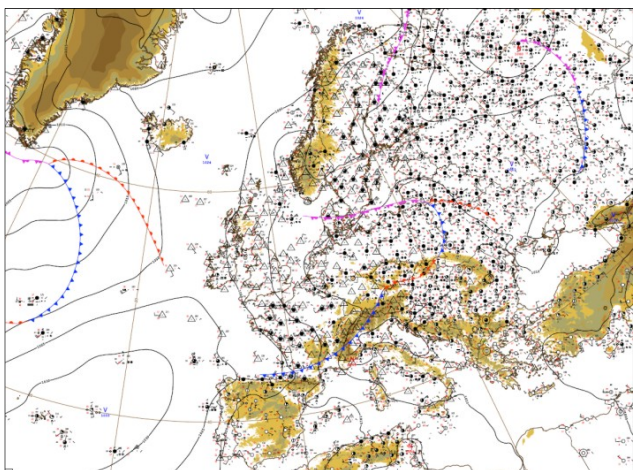
Obrázok 4. Po prednej strane brázdy nízkeho tlaku vzduchu nad západnou Európou vrcholil do našej oblasti od juhu prílev veľmi teplého, pôvodom tropického vzduchu. 30.5.2017 12:00 UTC.

Figure 4. There was a culmination of very warm, originally tropical air into our area from the south along the front side of depression trough spreading over Western Europe. 30.5.2017 at 12:00 UTC.



Obrázok 5. Zvltný studený front 24.7.2017 12:00 UTC.

Figure 5. Stationary cold front on 24th July 2017 at 12:00 UTC.



Leto 2017 – V júni pretrvávalo suché a veľmi teplé počasie, a tak už na konci prvej júlovej dekády sa extrémne sucho vyskytlo až na 6 staniciach. V júni sme zaznamenali 17 anticyklonálnych situácií. Z cyklonálnych situácií absentovalo viac severozápadných cyklonálnych situácií (vyskytli sa len dve s odstupom 8 dní) ktoré v tomto období prinášajú zrážky, ale aj ochladenie znižujúce výpar. Z cyklonálnych situácií prevládali juhozápadné až južné situácie a brázda nízkeho tlaku vzduchu.

Najviac sa sucho prejavilo na Ponitří, juhu Podunajskej nížiny a hlavne v Košiciach, kde SPEI kleslo na niekoľko dní až pod hranicu -3 . Po celý jún naďalej prevládalo sucho. V Topolčanoch (Obr. 2; v strede) za celý mesiac spadlo len 10,5 mm. Vlhko sa vyskytlo len na krajnom východe, v Tisinci (Obr. 2; dole) a Orechovej, kde spadlo okolo 120 mm za celý mesiac.

V júli sme zaznamenali 14 anticyklonálnych situácií, v poslednej dekáde prevládali cyklonálne situácie. V prvej júlovej dekáde sa začali prejavovať veľké regionálne rozdiely medzi juhozápadom a ostatnými oblasťami Slovenska. Na juhozápade boli najvyššie odchýlky teploty vzduchu a nedostatok zrážok, a tak na niektorých staniciach stále pretrvávalo extrémne sucho. Najdlhšie na tejto úrovni hodnôt zotrvalo v Topolčanoch a v Bratislave, pričom sa krátko vyskytlo aj v Piešťanoch a Kuchyni. Na ostatnom území Slovenska bol dostatok zrážok. Júl bol spočiatku teplotne normálny, až neskôr sa otepľovalo a nakoniec na celom území skončil v kladných odchýlkach. Najvlhšie podmienky boli na severovýchode, v okolí Stropkova. Búrková činnosť na konci júla (23 a 24.7.2017, Obr. 5) po dlhšej dobe (od 10. decembra) zvýšila indexy SPEI a SPI na stanici Bratislava-letisko až na kladné hodnoty, no toto zlepšenie netrvalo dlho. Zlepšenie indexu sucha malo však len regionálny charakter, nakoľko zrážky, ktoré sa vyskytli v tomto období, boli veľmi rozdielne aj v rámci juhozápadného Slovenska. Napr. v Bratislave-letisku napršalo 23 a 24.7. 11 mm, v neďalekej Kráľovej pri Senci 56 mm zrážok.

V auguste sa sucho opäť zvýraznilo. Vyskytlo sa až 19 anticyklonálnych situácií. Najmenej zrážok spadlo na Žitnom ostrove, kde bol mesačný úhrn len 16 mm. Relatívne najsuchšie bolo však v Hnileckej doline. Vo Švedlári sa podľa SPEI vyskytli v auguste až veľmi suché podmienky. Veľmi sucho bolo na konci mesiaca opäť aj v Bratislave-letisku a Topolčanoch. Naopak, na krajnom východe, stále pokračovalo relatívne vlhké obdobie. Mierne vlhko bolo aj v Banskej Štiavnici.

Jeseň 2017 – Na začiatku septembra bolo ešte mierne sucho miestami na juhozápade, a tiež aj na východe (Košice, Švedlár). Na konci prvej septembrovej dekády bolo veľmi sucho v Bratislave-letisku, Žiharci a Topolčanoch. No postupne sa situácia počas septembra zlepšovala. V Bratislave však stúpili SPEI a SPI nad nulu až začiatkom októbra. Na väčšine územia boli v októbri vlhké podmienky, no opäť v Bratislave-letisku sa aj v októbri na jeden týždeň vyskytlo mierne sucho.

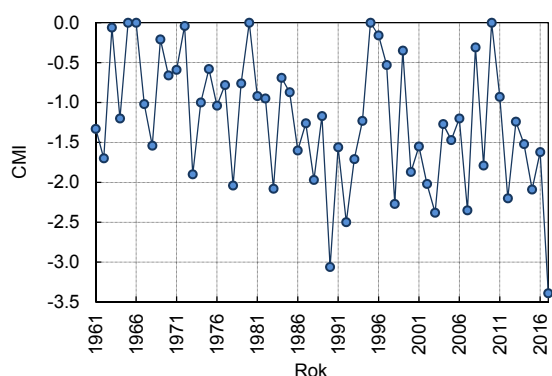
Počas novembra sa vlaha postupne dopĺňala, a aj v Bratislave už boli normálne podmienky. Extrémne vlhko bolo v novembri na severozápade Slovenska.

Index CMI

V zimných mesiacoch je typické, že tento index je prevažne kladný, prípadne sa pohybuje okolo nuly aj v tých najsuchších oblastiach. V chladnom polroku boli dlhodobo najvyššie hodnoty v Oravskej Lesnej, kde začiatkom januára bol CMI vyšší ako +3. Na jar, pri zvyšovaní teploty vzduchu a zvyšovaní výparu, nastal postupný pokles hodnôt CMI. Prvýkrát sa vyskytla nižšia hodnota ako -1 v polovici mája na stanici Bratislava-letisko. Sucho sa čoraz viac zvyrazňovalo počas letných mesiacov. Na začiatku júla bola najnižšia hodnota CMI v rámci celej sezóny na stanici Bratislava-letisko a to až -3,39. Táto hodnota je zároveň najnižšia na tejto stanici od roku 1961, od ktorého je tento index spočítaný (Obr. 6). Neskôr, počas júla, nastal vzostup CMI a situácia sa tak na niekoľko týždňov zlepšila, aj keď CMI zostávalo záporné. Koncom augusta a začiatkom septembra bolo na tejto stanici ešte dva týždne CMI pod hranicou -3. V roku 2017 bolo CMI v Bratislave-letisko (Obr. 7) záporné až 28 týždňov (od 26. marca až do 1. októbra, čo je 27 týždňov nepretržite plus jeden týždeň v polovici októbra), čo je najdlhšie od roku 1961 spolu s rokom 1978, kedy však nepretržite boli záporné hodnoty CMI len 24 týždňov. Počas sezóny bolo závažné sucho aj v Kráľovej pri Senci a v Piešťanoch. Práve v Piešťanoch bolo od 1961 suchšie už len v roku 2015. Na ostatných staniciach na juhozápade boli podmienky vo vrcholiacom lete len suché, prípadne mierne suché. Nanajvýš mierne sucho bolo vo východnej časti Podunajskej nížiny. Mierne sucho sa vyskytlo krátkodobo aj v Prievidzi, Žiline, na Pohroní, Juhoslovenskej kotline, Prešove a Košiciach. Na východnom Slovensku bolo najnižšie CMI práve v Košiciach (-1,51). Počas celej sezóny bolo CMI kladné v Oravskej Lesnej, Tisinci, Medzilaborciach a dokonca aj v Orechovej, kde za celý rok 2017 spadlo až 950 mm.

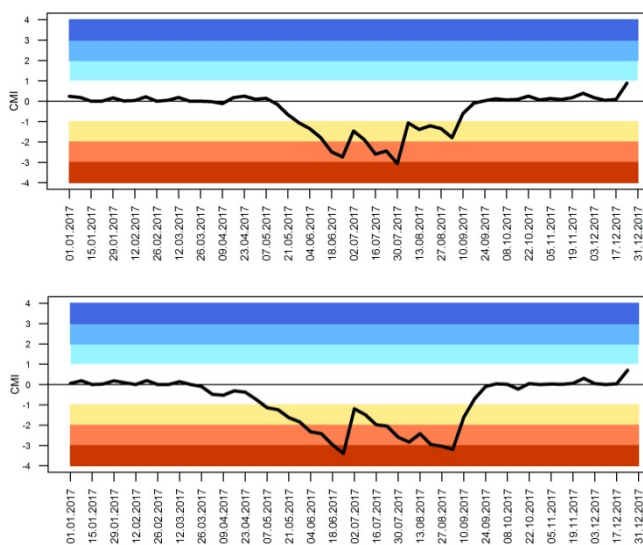
Obrázok 6. Minimálne hodnoty CMI v jednotlivých rokoch na stanici Bratislava-letisko.

Figure 6. Annual minimum values of the CMI in Bratislava-airport station.



Obrázok 7. Priebeh indexu CMI na staniciach Piešťany (hore) a Bratislava-letisko (dole) v roku 2017.

Figure 7. CMI in 2017 in stations Piešťany (top) and Bratislava-airport (bottom).



Meteorologické sucho 2017 v historickom kontexte

Najvýraznejšie sa meteorologické sucho v roku 2017 prejavilo v okolí Bratislavy. Začalo ešte 16. decembra 2016, pričom bez prerušenia trvalo do 23. júla 2017 (220 dní; takmer 6-násobok priemernej dĺžky suchého obdobia pre danú lokalitu). Následne došlo ku krátkemu prerušeniu, ktoré však bolo veľmi nevýrazné a rozhodne nemohlo výraznejšie zmierniť dopady sucha. Preto druhé suché obdobie od 8. augusta 2017 do 28. septembra 2017 (52 dní) môžeme označiť ako závislé (v hydrológii je zaužívaný pojem dependent drought), a teda zlúčiť s predchádzajúcim obdobím. Suché obdobie v okolí Bratislavy trvalo 272 dní, čo je o takmer 50 dní viac než druhé najdlhšie obdobie z roku 2003, ktoré sa začalo 20. februára 2003 a skončilo 19. októbra 2003. Intenzita (pomer objemu deficitu a dĺžky trvania) oboch porovnávaných období bola takmer rovnaká. Je však potrebné dodať, že aj toto 226 denné sucho bolo prerušené v prvej polovici augusta, pričom prerušenie bolo o niečo výraznejšie než v roku 2017. Tretím v poradí podľa dĺžky trvania v okolí Bratislavy je sucho z roku 1983 (19. júl až 18. december 1983; 153 dní; 2,5-násobok priemernej dĺžky trvania). Suchá epizóda na krajnom juhozápade Slovenska z roku 2017 dominuje dĺžkou aj v porovnaní so zvyšnými stanicami. Nikde na Slovensku sa sucho s takýmto trvaním nevyskytlo v danom roku, ani v celom sledovanom období.

Rok 2017 pritom neskončil medzi najvýznamnejšími ani na iných staniciach Podunajskej, či Záhorskej nížiny. Príčinou boli viaceré prerušenia počas zimy a jari, ktoré podmienili niekoľko suchých období, ale s kratším trvaním bez možnosti zlúčenia. Vo zvyšných častiach Slovenska dominovali z hľadiska trvania roky 2003, 1993 (252 dní v okolí Rimavskej Soboty), 2015 (208 dní v okolí Trebišova) a 1983 (192 dní v okolí Banskej Bystrice).

Pokiaľ porovnáme počet suchých období a priemernú dĺžku ich trvania za obdobie 1981–2017 (Tab. 3) zistíme, že stanice na juhu východného a stredného Slovenska majú

predispozíciu pre síce menší počet období, avšak s dlhším trvaním. To znamená, že dochádza k menšiemu počtu prerušení, ktoré by mohli viesť k zmierneniu dopadov sucha. Z tohto pohľadu je región juhozápadného a západného Slovenska na tom z dlhodobého hľadiska o niečo lepšie. V severnej polovici Slovenska je síce počet období ešte vyšší, avšak ich priemerné trvanie je jednoznačne kratšie.

Tabuľka 3. Počet suchých období a ich priemerná dĺžka trvania na vybraných staniciach v období 1981–2017.

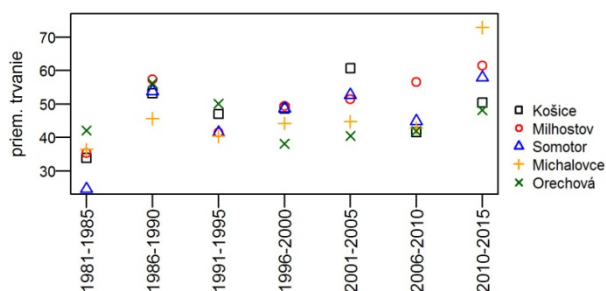
Table 3. Number of drought periods and their average duration at selected stations in the period 1981–2017.

Stanica	Počet období	Priemerná dĺžka trvania
Milhostov	97	48,2
Košice	96	46,3
Rimavská Sobota	98	44,7
Lučenec - Boľkovce	93	46,2
Bratislava – letisko	101	45,7
Nitra	101	45,1
Žihárec	105	42,8
Kuchyňa	105	42,5

Pohľad na trendový vývoj parametrov suchých období umožňuje ich porovnanie na úrovni 5-ročných období (hodnotené obdobie 1981–2015). Rastúcu dĺžku trvania suchých období pozorujeme na juhozápade a juhovýchode Slovenska (Obr. 8). Kým na Podunajskej nížine bolo pozorované predĺženie suchých období o 6–10 dní (s výnimkou severných okrajových oblastí), na juhovýchode to bolo až o 8–18 dní, pričom výnimkou je oblasť Orechovej. V ostatných oblastiach nie je možné pozorovať zreteľnejší vývoj dĺžky trvania. Výnimkou je len okolie Tisínca, kde podobne ako v popisovaných oblastiach dochádza ku kladnému trendu vývoja trvania suchých období.

Obrázok 8. Priemerné trvanie suchej epizódy v jednotlivých 5-ročných obdobiach na vybraných staniciach juhovýchodného Slovenska.

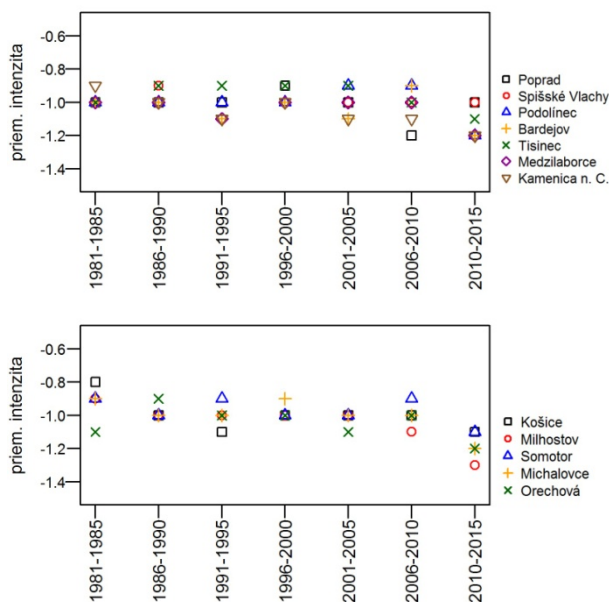
Figure 8. Average duration of drought periods in the 5-year periods in the southeastern Slovakia.



Iná situácia je pri sledovaní intenzity suchých období. Nárast intenzity, aj keď pomalý, pozorujeme okrem juhozápadu a juhovýchodu, aj na severovýchodnom Slovensku (Obr. 9) a v okolí Lučenca. Menej výrazný je tento nárast aj na niektorých ďalších staniciach stredného Slovenska. Tomuto vývoju zodpovedá aj vývoj objemu deficitu, ktorý sa počas jednotlivých suchých epizód naakumuluje. Aj v prípade tohto parametra pozorujeme postupné zhoršovanie situácie, a teda nárast priemerného objemu deficitu.

Obrázok 9. Priemerná intenzita suchej epizódy v jednotlivých 5-ročných obdobiach na vybraných staniciach severovýchodného (hore) a juhovýchodného Slovenska (dole).

Figure 9. Average drought intensity in the 5-year periods in the northeastern (top) and southeastern (bottom) Slovakia.



Pôdneho suchu v roku 2017

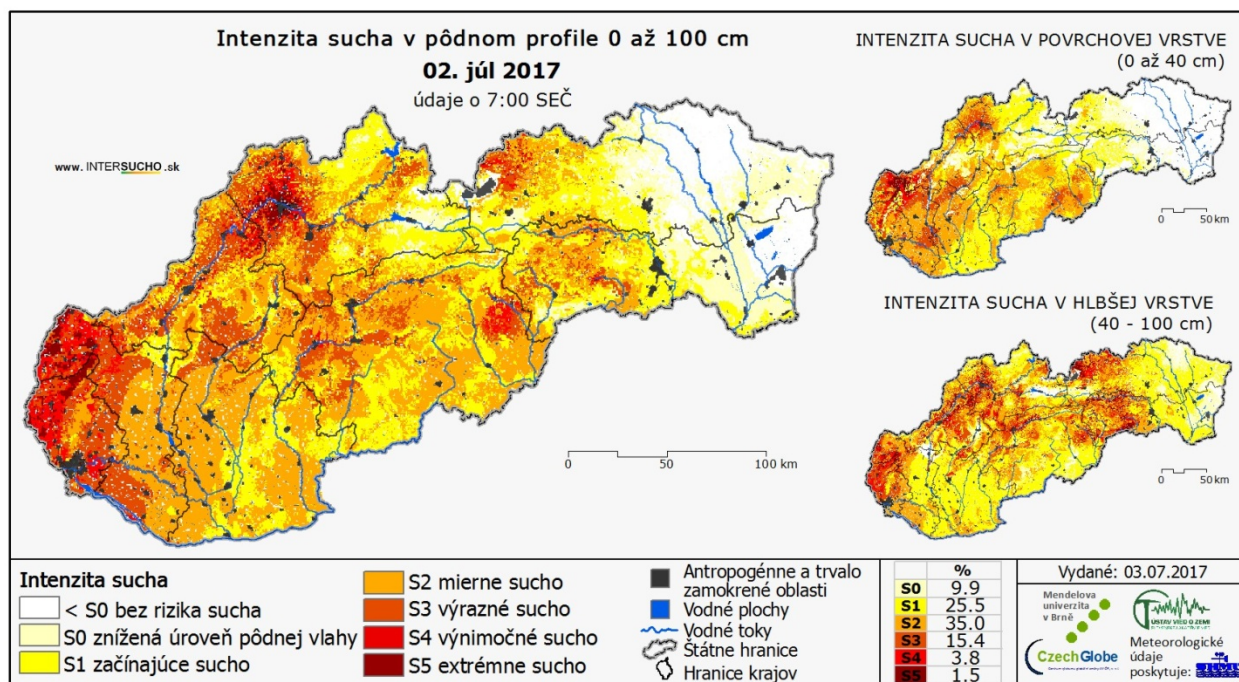
Intenzita pôdneho sucha

Na začiatku roka bolo výrazné suchu v povrchovej vrstve (0–40 cm pôdneho profilu) na Záhorí a dolnom až strednom Považí. V januári sa toto suchu rozširovalo na čoraz väčšiu plochu a zväčšovalo sa najmä na Záhorí. Na prelome januára a februára tu bolo až výnimočné suchu. Vo februári sa situácia zlepšila. Výrazné suchu už nepokrývalo takú plochu a v hlbšej vrstve bolo nanajvyš mierne suchu. Na konci februára bolo v povrchovej vrstve takmer celé územie Slovenska bez rizika sucha, a v hlbšej vrstve bolo ojedinele mierne suchu na Záhorí. V marci zostávala situácia stabilná a nemenila sa. Na začiatku apríla, po veľmi teplej prvej aprílovej dekáde, nastalo zhoršenie podmienok najmä na Záhorí. V povrchovej vrstve sa intenzita zvýšila na úroveň mierneho sucha, a v celom profile až na úroveň výrazného sucha. Počas apríla sa suchu zmiernilo a na konci tohto mesiaca už bolo opäť takmer celé územie Slovenska bez rizika sucha.

Výrazné suchu sa objavilo na Záhorí opäť až na konci mája. V júni, pri postupnom otepľovaní, sa situácia začala zhoršovať, okrem Záhoria, aj v západnej časti Podunajskej nížiny. Výnimočné suchu bolo v týchto oblastiach už na konci prvej júnovej dekády. V júni stále pretrvávalo suché a horúce počasie, a tak na konci júna bolo extrémne suchu miestami na Záhorí, a výnimočné suchu bolo na Považí, v západnej časti Podunajska a na Above. Táto situácia pokračovala aj v júli. Extrémne suchu sa objavilo aj v okolí Žiliny a celkovo pokrývalo v hlbšej vrstve až 3 % územia Slovenska (Obr. 10). Neskôr, vďaka búrkovej činnosti sa suché podmienky na konci júla zmiernili.

Obrázok 10. Intenzita pôdneho sucha na Slovensku dňa 2. júla 2017.

Figure 10 Soil drought intensity on 2nd July 2017 in Slovakia.



V priebehu prvého augustového týždňa opäť nastalo zhoršenie takmer na celom území Slovenska. Výnimočné až extrémne suchu nebolo len na Považí a Záhorí, ale objavilo sa aj v Slovenskom Rudohorí a na Spiši, konkrétne v Hornádskej kotline. V tomto období bolo extrémne suchu zvýraznené predovšetkým v hlbšej vrstve a pokrývalo 3 % celkovej plochy. Bez rizika sucha bolo takisto len 3 % celkovej plochy (Horný Zemplín a severovýchod). V polovici augusta nastalo zlepšenie, ale opäť na konci augusta sa výnimočné až extrémne suchu objavilo na pár týždňov v Hornádskej kotline a vo Volovských vrchoch. Na Záhorí bolo nanajvýš výrazné suchu, a to v oblasti Skalice.

Počas septembra sa vlhkosť v pôde postupne dopĺňala najmä v hornej vrstve. Na konci prvej septembrovej dekády bolo extrémne suchu stále v spodnej vrstve na Záhorí, Gemeri a Spiši. V povrchovej vrstve však takmer celé územie bolo bez rizika sucha. Výrazné zlepšenie nastalo až po 20. septembri, kedy už ani na Záhorí nebolo extrémne suchu, ale výrazné až výnimočné suchu naďalej pokračovalo. V ďalších týždňoch sa podmienky zlepšovali. Na začiatku októbra bolo takmer celé územie Slovenska bez rizika sucha. V priebehu októbra sa ešte ojedinele vyskytlo začínajúce suchu, ale po pár týždňoch sa vlaha doplnila a v novembri už so suchom problém nikde nebol.

Relatívne nasýtenie pôdneho profilu

Do konca marca bolo relatívne nasýtenie takmer na celom Slovensku vyššie ako 50 %, prevažne však bolo v intervale 70 až 100 %. Zhoršenie nastalo až na začiatku apríla. V priebehu jedného týždňa nasýtenie na Záhorí pokleslo v povrchovej vrstve ojedinele až na 20–30 %. Táto vrstva

pôdy sa v prvých aprílových dňoch výrazne vysušila aj na ostatnom území Slovenska. Počas apríla sa podmienky na Podunajskej nížine zhoršovali. Nasýtenie postupne kleslo na 40–50 %. Pre jarné rastliny teda už bolo potrebné zavlažovanie. Na ostatnom území Slovenska sa nasýtenie v apríli zvyšovalo.

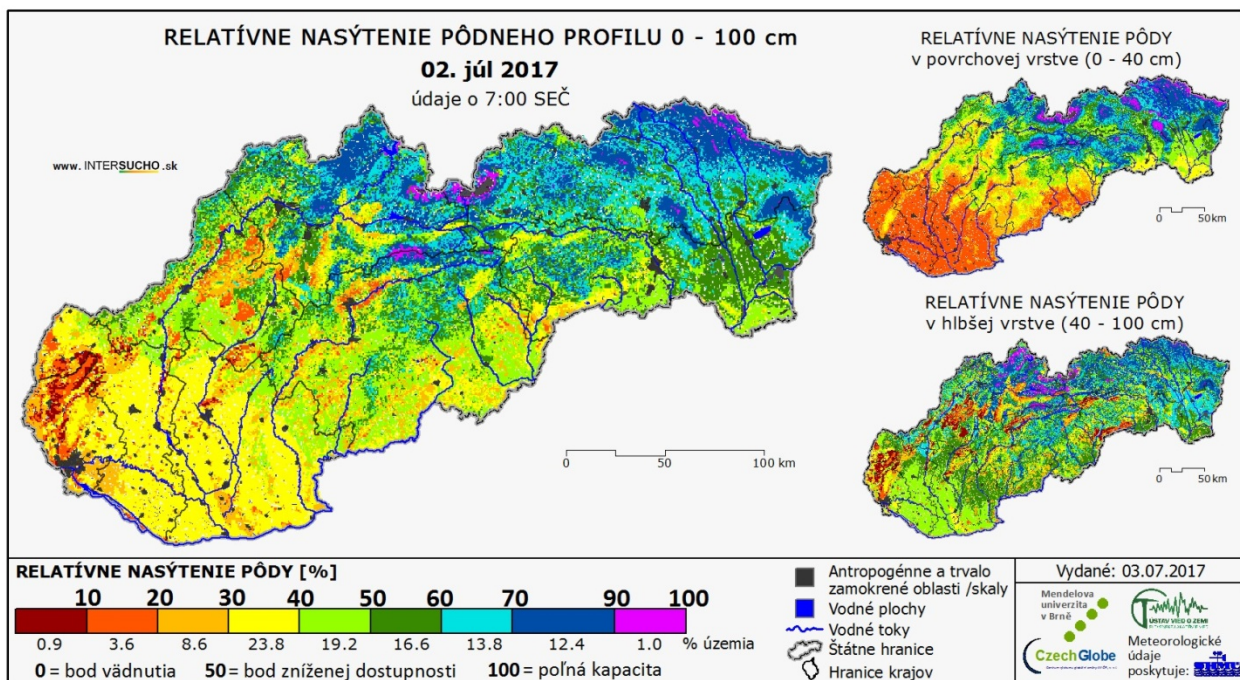
Na prelome apríla a mája sa vo východnej časti Podunajskej nížiny nasýtenie zvýšilo na 70–90 %, ale na krajnom juhozápade, v oblasti Bratislavy, jeho hodnoty boli len 30–40 %. V priebehu mája sa postupne otepľovalo, a na konci mesiaca nasýtenie na Podunajsku bolo v intervale 20–30 %, a na Záhorí v najsuchších oblastiach až 10–20 %. Vysušovanie už neprebiehalo len v povrchovej vrstve, ale zhoršovanie nastalo aj v hlbšej vrstve.

Počas júna stále pokračovalo suché počasie a relatívne nasýtenie pokleslo aj na Podunajskej nížine na 10–20 %. Na začiatku júla bolo nasýtenie na Záhorí, ale aj miestami na západnom a východnom Slovensku, už pod 10 % a pokrývalo asi 4 % plochy v hlbšej vrstve. V povrchovej vrstve bolo tiež nasýtenie pod 10 %, ale na menšej ploche. Hodnoty nasýtenia v intervale 10–20 % boli približne na štvrtine územia (Obr. 11). V júli sa situácia trochu zlepšila hlavne v povrchovej vrstve, ale hlbšia vrstva na Záhorí bola stále vysušená. Na začiatku augusta bol bod zníženej dostupnosti dosiahnutý až na 80 % celkovej plochy (Obr. 12). V hlbšej časti profilu 6 % plochy malo nasýtenie pod hranicou 10 % (bod vädnutia).

V auguste nastalo všeobecné zlepšenie vlhkových podmienok v povrchovej vrstve. V hlbšej vrstve však situácia stále kritická. Hodnoty nasýtenia boli pod 10 % v hlbšej vrstve ešte aj na konci druhej septembrovej dekády. Od začiatku októbra sa situácia postupne zlepšovala a nasýtenie sa aj v dôsledku znižovania výparu zvyšovalo.

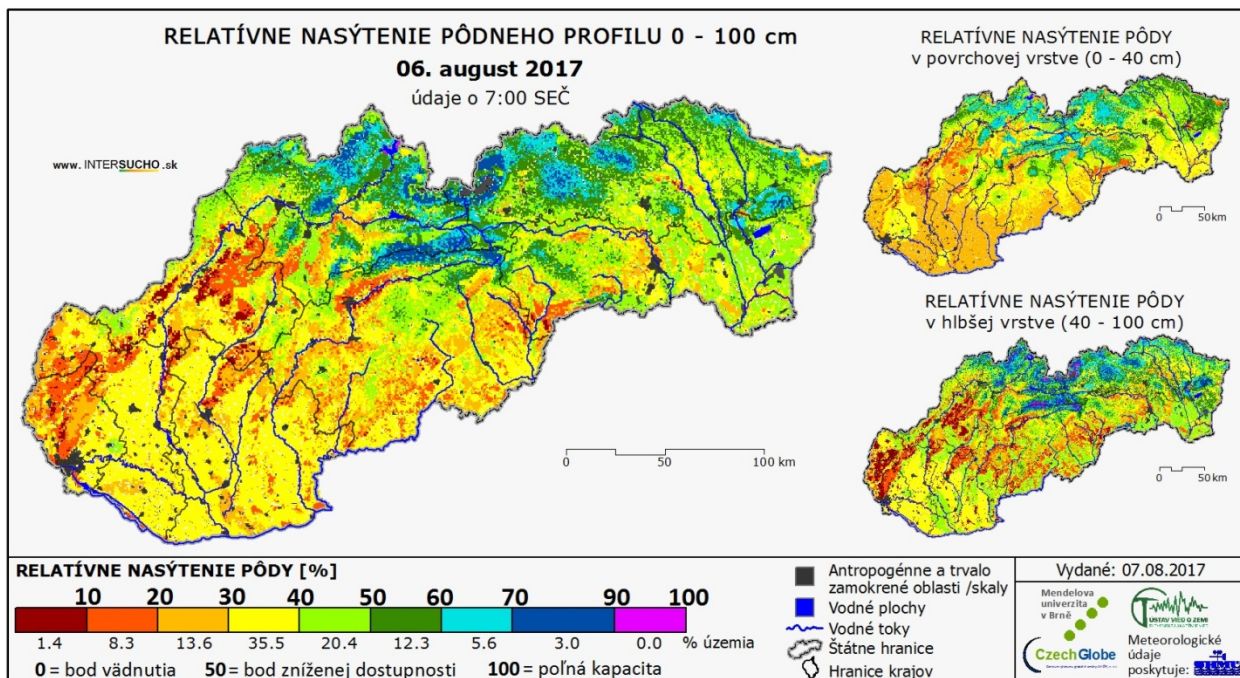
Obrázok 11. Relatívne nasýtenie pôdneho profilu na Slovensku dňa 2. júla 2017.

Figure 11. Relative soil humidity on 2nd July 2017 in Slovakia.



Obrázok 12. Relatívne nasýtenie pôdneho profilu na Slovensku dňa 6. augusta 2017.

Figure 12. Relative soil humidity on 6th August 2017 in Slovakia.



DISKUSIA A ZÁVER

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 na väčšine územia Slovenska sa začalo ešte v polovici decembra 2016. Február priniesol zlepšenie situácie vo viacerých regiónoch. Problematickým zostal iba krajný juhozápad v okolí Bratislavy. Dlhodobý pretrvávajúci vlahový deficit sa postupne čoraz výraznejšie prejavoval aj na intenzite pôdneho sucha. Jedným z dopadov pretrvávajúceho sucha bol aj vysoký index požiarneho nebezpečenstva lesných porastov (http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=klimat_dennemapy). Na konci júna dosahoval svoj najvyšší, piaty stupeň na Záhorí a Podunajskej nížine. Suché obdobie bolo ukončené až na konci septembra 2017.

Vzhľadom na dlhé trvanie sucha, avšak dlhodobý nedosahujúce extrémne nízke hodnoty, jeho intenzita (pomer deficitu a dĺžky trvania suchého obdobia) nedosahovala historicky rekordné hodnoty. Takéto dlhé obdobia sa totiž nevyznačujú vysokými intenzitami, ale ich dôsledky vyplývajú práve z ich dĺžky.

Po roku 2010 sa významné suché obdobia vyskytli v rokoch 2011/2012, 2015, 2016 a 2017. Z tohto dôvodu sa operatívny monitoring sucha ukazuje ako nevyhnutný. Monitoring prevádzkovaný na SHMÚ dokázal sledovať vývoj vlahovej bilancie a pôdnej vlhkosti od roku 2015 na veľmi dobrej úrovni, čím sa osvedčil. Medzi širokou verejnosťou však ešte nie je intenzívne využívaný, aj napriek svojmu vysokému potenciálu. Skúsenosti z roku 2017 ukazujú, že len aktívna a intenzívna propagácia na webových stránkach SHMÚ, ale aj partnerských organizácií, či v médiách pomôže zvýšiť povedomie o problematike a zabezpečiť plné využívanie voľne dostupných informácií.

LITERATÚRA

- Hlavinka, P.–Trnka, M.–Semerádová, D.–Dubrovský, M.–Žalud, Z., Možný, M., 2009, *Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic*. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 149, Is. 3–4, 431–442.
- Chang, K.–Xu, L.–Starr, G.–Paw U.K.T., 2018, *A drought indicator reflecting ecosystem responses to water availability: The Normalized Ecosystem Drought Index*. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 250–251, 102–117.
- Kolář, T.–Čermák, P.–Trnka, M.–Žid, T.–Rybníček, M., 2017, *Temporal changes in the climate sensitivity of Norway spruce and European beech along an elevation gradient in Central Europe*. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 239, 24–33.
- Laaha, G.–Parajka, J.–Viglione, A.–Koffler, D.–Haslinger, K.–Schöner, W.–Zehetgruber, J.–Blöschl, G., 2015, *A three-pillar approach to assess climate impacts on low flows and droughts in Austria*. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 12, Is. 12, 13069–13122.
- Mäkinen, H.–Kaseva, J.–Trnka, M.–Balek, J.–Kersebaum, K.C.–Nendel, C.–Gobin, A.–Olesen, J.E.–Bindi, M.–Ferrise, R.–Moriondo, M.–Rodríguez, A.–Ruiz-Ramos, M.–Táková, J.–Bezák, P.–Ventrella, D.–Ruget, F.–Capellades, G.–Kahiluoto, H., 2017, *Sensitivity of European wheat to extreme weather*. *Field Crops Research*, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.008>.
- Marcos-García, P.–Lopez-Nicolas, A.–Pulido-Velazquez, M., 2017, *Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean basin*. *Journal of Hydrology*, Vol. 554, 292–305.
- McKee, T.B.–Doesken, N.J.–Kleist, J., 1993, *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- Olesen, J.E.–Trnka, M.–Kersebaum, K.C.–Skjelvåg, A.O.–Seguin, B.–Peltonen-Sainio, P.–Rossi, F.–Kozyra, J.–Micale, F., 2011, *Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change*, Vol. 34, Is. 2, 96–112.
- Quesada-Montano, B.–Di Baldassarre, G.–Rangecroft, S.–Van Loon, A.F., 2018, *Hydrological change: Towards a consistent approach to assess changes on both floods and droughts*. *Advances in Water Resources*, Vol. 111, 31–35.
- Spinoni, J.–Carrao, H.–Naumann, G.–Antofie, T.–Barbosa, P.–Vogt, J., 2013, *A global drought climatology for the 3rd edition of the World Atlas of Desertification (WAD)*. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU General Assembly 2013.
- Van Loon, A.F.–Tijdeman, E.–Wanders, N.–Van Lanen, H.A.J.–Teuling, A.J.–Uijlenhoet, R., 2014, *How climate seasonality modifies drought duration and deficit*. *Journal of Geophys. Research: Atmospheres*, Vol. 119, 4640–4656.
- Vicente-Serrano, S.M.–Begueria, S.–López-Moreno, J.I., 2010, *A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*. *Journal of Climate*, Vol. 23, Is. 7, 1696–1718.
- Wang, H.–He, B.–Zhang, Y.–Huang, L.–Chen, Z.–Liu, J., 2018, *Response of ecosystem productivity to dry/wet conditions indicated by different drought indices*. *Science of the Total Environment*, Vol. 612, 347–357.
- Žalud, Z.–Hlavinka, P.–Prokeš, K.–Semerádová, D.–Balek, J.–Trnka, M., 2017, *Impacts of water availability and drought on maize yield – A comparison of 16 indicators*. *Agricultural Water Management*, Vol. 188, 126–135.

IMPLEMENTÁCIA MITIGAČNÝCH OPATRENÍ A ICH POTENCIÁL PRE ZNIŽOVANIE EMISIÍ V POĽNOHOSPODÁRSTVE

KRISTÍNA TONHAUZER^{1,2}, JANKA SZEMESOVÁ²

¹ Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Slovenská poľnohospodárska univerzita,
Trieda Andreja Hlinku 609/2, 949 76 Nitra-Chrenová

² Odbor emisie a biopalivá, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava,
kristina.tonhauzer@shmu.sk, janka.szemesova@shmu.sk

Efficient setting of agricultural policy in order to reduce emission burden should reflect on current mitigation actions, measures and analysis of emissions situation. The analysis should contain the identification of emissions key sources from the entire agricultural production cycle and the proposal of additional policies and measures that have a positive impact on agricultural production and potential for emissions reduction. It is necessary to adjust a current system of supports and subsidies in manner which takes into consideration mainly the environmental aspects. The Slovak Hydrometeorological Institute does not cover all relevant information from agricultural sector. Therefore, the article provides only partial answers to this important topic. It is focused mainly on greenhouse gases and pollutants emissions and their environmental impacts.

Efektívne nastavenie poľnohospodárskej politiky na zníženie emisnej záťaže sektoru zo strany štátu musí reflektovať na aktuálne využívané mitigačné opatrenia a analýzy emisnej situácie. Analýza musí pozostávať z identifikácie kľúčových zdrojov emisií z celého cyklu poľnohospodárskej výroby a návrhu dodatočných politík a opatrení, ktoré majú pozitívny vplyv na poľnohospodársku produkciu a zároveň znižujú potenciál tvorby emisií. Na túto filozofiu je potrebné nastaviť aj systém súčasných podpôr a dotácií. Na začiatku je potrebné súčasný stav detailne analyzovať. Tento článok poskytuje iba čiastočné odpovede na tieto dôležité otázky, nakoľko Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) nedisponuje všetkými informáciami v rezorte pôdohospodárstva a zameriava sa hlavne na environmentálny aspekt problematiky z pohľadu emisií skleníkových plynov a znečisťujúcich látok.

Key words: mitigation, ammonia, emissions, NEIS, EMEP/EEA Guidebook, storage, spreading, manure

ÚVOD

Poľnohospodárstvo je veľmi špecifické odvetvie hospodárstva z hľadiska emisií skleníkových plynov a znečisťujúcich látok. Poľnohospodárstvo dokáže emisie produkovať, ale ich aj zachytávať. Orná pôda, lúky a pasienky majú potenciál viazať oxid uhličitý ako hlavný skleníkový plyn z atmosféry. Okrem toho je veľmi žiaduce zvýšiť viazanosť dusíka v pôde. Pri nastavovaní environmentálnych politík by sa mali zohľadňovať environmentálne faktory poľnohospodárskej produkcie ak ide o sekvestráciu uhlíka do pôdy¹. Chov zvierat a ich pobyt na pastve má pozitívny vplyv na existenciu lúčnych spoločenstiev.

Environmentálne normy EÚ v oblasti poľnohospodárstva patria medzi najprísnejšie na svete. Politika v oblasti životného prostredia pomáha ekologizovať hospodárstvo Únie, ochraňovať prírodu a zabezpečovať zdravie a kvalitu života ľudí v EÚ. Slovenská republika sa vstupom do Európskej únie pripojila do klubu štátov, ktoré sa hlásia k ochrane životného prostredia a teda aj ovzdušia. V roku

2016, Európska únia zaviedla viacročný proces revízie smernice o národných emisných stropoch z roku 2001. Hlavným dôvodom revízie smernice je momentálna zhoršená kvalita ovzdušia v Európe. Znečistené ovzdušie je hlavným zdravotným rizikom, v dôsledku ktorého dochádza k vzniku pľúcnych a kardiovaskulárnych chorôb či nádorových ochorení. Okrem negatívnych vplyvov na zdravie obyvateľstva má znečistenie ovzdušia značný hospodársky dosah v podobe zvýšenia nákladov na zdravotnú starostlivosť a negatívny vplyv na biotu. Smernica 2016/2284² stanovila nové emisné redukčné záväzky piatich znečisťujúcich látok pre všetky členské štáty vyjadrené v percentách, pre časový horizont od roku 2020 a od roku 2030. Slovenská republika má za cieľ znížiť, okrem iných, aj emisie amoniaku z poľnohospodárstva a ostatných sektorov od roku 2020 o 15 % oproti roku 2005. Pričom od roku 2030 by mala Slovenská republika znížiť svoje emisie amoniaku o 30 % v porovnaní zo základným rokom 2005. Projekcie emisií amoniaku vypracované v roku 2018 naznačujú, že bez dodatočných opatrení na zníženie emisií amoniaku v poľnohospodárstve nedokážeme očakávané záväzky krajiny splniť. Kľúčový sektor,

¹ Rozhodnutie Európskeho parlamentu a Rady č. 529/2013/EÚ z 21. mája 2013 o pravidlách započítavania pre emisie a zachyty skleníkových plynov vyplývajúce z činností súvisiacich s využívaním pôdy, so zmenami vo využívaní pôdy a s lesným hospodárstvom a o informáciách týkajúcich sa opatrení súvisiacich s týmito činnosťami

² Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2016/2284 o znížení národných emisií určitých látok znečisťujúcich ovzdušie, ktorou sa mení smernica 2003/35/ES a ruší smernica 2001/81/ES

ktorý produkuje až 90 % emisií amoniaku je práve poľnohospodárstvo. Emisie oxidu dusnatého (NO) z hnojového hospodárstva a z poľnohospodárskej pôdy sú vyňaté z redukčných záväzkov.

EMISIE Z POĽNOHOSPODÁRSTVA

V poľnohospodárstve vzniká okrem amoniaku aj široké spektrum emisií rôznych plynov, sú to predovšetkým oxid dusnatý (NO), elementárny dusík (N₂) a oxid dusný (N₂O), ktorý je však skleníkový plyn. Emisie dusíka môžeme zadefinovať ako stratu dusíka vo forme oxidov počas celého cyklu (volatilizácia), od produkcie organického odpadu až po jeho využitie (inkorporácia do pôdy). Dusík je elementárny prvok, ktorý je nevyhnutný pre rast zvierat a rastlín. Je prítomný v kŕmnych dávkach a taktiež v poľnohospodárskych hnojivách, dusík sa zabudováva do pletív rastlín a do svalov a kostí hospodárskych zvierat (25–35 % dusíka). Nie všetok dusík je priamo inkorporovaný, nevyužitý dusík sa dostáva do životného prostredia vo forme organického odpadu (hnoja a hnojovice), dusík sa tiež dostáva do životného prostredia počas produkcie plodín vo forme vymytého dusíka z anorganických hnojív. Dusík ďalej podlieha chemickým reakciám a tvorí zlúčeniny, emisie, ktoré sú nepriaznivé pre životné prostredie, najmä pre kvalitu ovzdušia [2].

Vzhľadom na to, že kvalitu ovzdušia a splnenie redukčných záväzkov v najvyššej miere ovplyvňujú práve emisie amoniaku, príspevok sa ďalej venuje iba tejto znečisťujúcej látke.

Najvyššie straty amoniaku pri hospodárskych zvieratách sú pri povrchovej aplikácii organických a anorganických odpadov na poľnohospodársku pôdu (až 66 %). Nasledujú straty pri manipulácii a skladovaní organického odpadu a straty pri pastve (24 %). Najmenej emisií vzniká pri ustajnení hospodárskych zvierat (10 %).

EXISTUJÚCE MITIGAČNÉ OPATRENIA V EURÓPE

Mitigácie môžeme vo všeobecnosti definovať ako opatrenia zamerané na znižovanie emisií skleníkových plynov a znečisťujúcich látok v snahe dosiahnuť splnenie redukčného záväzku. Aké mitigačné opatrenia na emisie amoniaku v poľnohospodárstve zvoliť? Predovšetkým ide o zamedzenie strát a únikov dusíka do životného prostredia. Tu sa môžu mitigačné opatrenia rozdeliť do skupín podľa miesta a času ich uplatnenia:

- Počas kŕmenia hospodárskych zvierat a vzniku živočíšnych odpadov;
- Počas ustajnenia zvierat a nakladania so živočíšnym odpadom;
- Počas skladovania živočíšnych odpadov;
- Počas aplikácie živočíšnych odpadov do pôdy.

Mitigačné opatrenia počas kŕmenia hospodárskych zvierat

Vylučovanie dusíka u zvierat, dodávaného v kŕmnych dávkach, sa nedá úplne vylúčiť. Zvieratá by sa nemali pre-

krmovať. Tabuľka 1 zobrazuje cieľové úrovne pre obsah dusíkatých látok v kŕmnych dávkach. Úroveň dusíkatých látok v krmive zohľadňuje produkčné štádium zvierat, vek a druh. Riadením kŕmnych dávok a sledovaním úrovne dusíka v kŕmnej dávke sa dá dosiahnuť zníženie množstva strát dusíka, ktoré končia v organickom odpade.

Tabuľka 1. Orientačné cieľové hladiny dusíkatých látok [%] v suchom krmive so štandardným obsahom sušiny (DM) 88 % pre ustajnené zvieratá v závislosti od kategórie zvierat.

Table 1. Indicative target protein levels [%] of dry feed with a standard dry matter (DM) content of 88% for housed animals as a function of animal category.

Druh	Kategória	Produkčná fáza	Obsah dusíkatých látok v kŕmnej dávke [%]
Hovädzí dobytok	Dojnice	Skoršia laktácia	15–16
		Neskoršia laktácia	12–14
	Jalovice	-	12–13
	Výkrmové býky	Mladšie ako 3 mesiace	15–16
		Staršie ako 6 mesiace	12
Ošípané	Prasiatka	< 10 kg	19–21
		< 25 kg	17–19
	Výkrmové ošípané	25–50 kg	15–17
		50–110 kg	14–15
		110–170 kg	11–12
	Prasnice	gravidne	13–15
		dojčiace	15–17
Hydina	Nosnice	18–40 týždňov	15,5–16,5
		Viac ako 40 týždňov	14,5–15,5
	Brojlery	malé	20–22
		dospievajúce	19–21
		dospelé	18–20
	Morky	Mladšie ako 4 týždne	24–27
		5–8 týždňov	22–24
		9–12 týždňov	19–21
		Viac ako 13 týždňov	16–19
		Viac ako 16 týždňov	14–17

Zdroj [6]: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/Publications/Ammonia_SR136_28-4_HR.pdf

Používanie niektorých krmovinových prísad, ako sú enzýmy a aminokyseliny, môžu zvýšiť účinnosť kŕmív, čím sa zlepši zadržanie živín a zníži množstvo vylúčených živín v hnoji a hnojovici. Kŕmenie poskytuje nákladovo najúčinnnejšie možnosti znižovania emisií amoniaku. Týmto opatreniami je možné znížiť emisie o približne 15 % v závislosti od druhu hospodárskeho zvierat.

Organické živočíšne odpady, tekuté a tuhé, samostatne emitujú len minimálne množstvo amoniaku, výrazné uvoľňovanie nasleduje až po kontaminácii mikroorganizmami nachádzajúcimi sa na znečistenej podlahe. Z organického odpadu sa uvoľňuje len zanedbateľné množstvo amoniaku (menej ako 1 %), vzhľadom na to, že obsahujú dusík prevažne v organickej forme. Je dôležité si uvedomiť, že čím je vyššia koncentrácia močoviny v tekutom odpade, tým je vyšší stupeň volatilizácie amoniakálnych emisií do ovzdušia. Tvorbu močoviny z tekutého odpadu je možné ovplyvňovať aj prostredníctvom aditív v krmive [3].

Účinné mitigačné opatrenia pre fázu kŕmenia sú:

- primiešavanie biotechnologických aditív do krmiva,
- neprekrmovanie zvierat,
- neprekračovanie obsahu dusíkatých látok v kŕmnej dávke.

Mitigačné opatrenia počas ustajnenia zvierat a nakladania so živočíšnym odpadom

Mitigačné opatrenia je možné implementovať aj počas ustajnenia hospodárskych zvierat. Organický odpad by sa mal pravidelne odstraňovať zo stajní, nakoľko vytvára podmienky pre volatilizáciu emisií. Odpady by mali byť umiestnené na malú plochu tak, aby bola dostupnosť možnej volatilizácie nižšia. Drahším opatrením je zabezpečiť nútené vetranie a čistenie odpadových plynov z ustajnenia vo forme odlučovača odpadných plynov [3].

Účinné mitigačné opatrenia pre fázu ustajnenia a nakladania so živočíšnym odpadom sú:

- Mašale by mali byť suché a čisté;
- Nútená cirkulácia vzduchu;
- Odlučovače na odpadný plyn.

Mitigačné opatrenia počas skladovania živočíšnych odpadov

Priestor na ďalšiu volatilizáciu je pri skladovaní živočíšnych odpadov. Skladovanie prebieha prevažne vo voľných alebo prekrytých hnojiskách, prípadne v nádržiach. Aj pri skladovaní organického odpadu je kľúčová veľkosť plochy, z ktorej dochádza k stratám vo forme dusíka. V praxi platí, že čím menšia plocha uskladneného hnoja, tým sú nižšie emisie amoniaku. Rovnako dôležitým opatrením je prekrytie, ktoré zabraňuje rýchlej oxidácii a následnej tvorbe emisií amoniaku. Tesnosť prekrytia ovplyvňuje množstvo emisií, čím je prekrytie tesnejšie, tým sú emisie nižšie. Pevný kryt (trvalý betónový poklop) je účinnejší ako plávajúce kryty (nasekaná slama, plávajúca fólia, prípadne hexadlaždice), ktoré sú síce lacnejšie, ale menej stabilné. Pri skladovaní hnojovice v nádržiach sa pri každom jej pohybe zvyšujú emisie amoniaku. V pokojnej fáze vytvorí prirodzenú kôru, ktorá bráni úniku emisií. Najúčinnnejšie a zároveň aj najdrahšie opatrenie ako redukovať emisie zo skladovania hnoja a hnojovice je využívanie bioplynových staníc, v ktorých sa hnojovica a hnoj použije ako vstupná surovina na výrobu tepla a/alebo elektriny. Dostupné mitigačné opatrenia použité počas skladovania demonštruje tabuľka 2 [1].

Účinné mitigačné opatrenia pre fázu skladovania živočíšnych odpadov sú:

- Izolácia organického hnoja s okolitým priestorom;
- Bioplynové stanice.

Tabuľka 2. Mitigačné opatrenia pri skladovaní živočíšnych odpadov.

Table 2. Mitigation measures for manure storage.

Mitigačné opatrenia pri skladovaní	Druh zvierat'a	Redukčný potenciál
Pevné veko alebo strecha	všetky	80 %
Pružný kryt	všetky	80 %
Plávajúci kryt	všetky	60 %
Prirodzená kryt	všetky	40 %
Skladovanie vo vakoch	všetky	100 %
Uzavreté tanky	všetky	30-60 %

Zdroj [6]: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/Publications/Ammonia_SR136_28-4_HR.pdf

Mitigačné opatrenia počas aplikácie živočíšnych odpadov do poľnohospodárskej pôdy

Organický dusík, ktorý je prítomný v organickom odpade má nenahraditeľnú funkciu pri raste rastlín. Organický odpad dodáva do pôdy elementárne prvky a zlúčeniny. Po skladovaní organického odpadu sa odpad deponuje na poľnohospodársku pôdu. Aplikácia živočíšnych hnojív do pôdy je kľúčovým zdrojom emisií do ovzdušia. Je to spôsobené tým, že organický odpad (hnoj a hnojovica) sa rozváža po poli a vytvára veľkú plochu, z ktorej dochádza ľahšie k volatilizácii emisií do ovzdušia. Emisie sú najvyššie pri veternom a teplom počasí. Pri priepustnejších piesčitých pôdach bývajú nižšie emisie, pretože tekutá časť, kde je amoniak rozpustený, rýchlo vsakuje do pôdy. Nižšie emisie amoniaku sú taktiež, keď sa tekutý organický odpad aplikuje do porastu. Porast tvorí nad aplikovaným organickým odpadom kryt, znižuje prúdenie vzduchu nad ním a tvorí tieň - bráni volatilizácii amoniaku. Aby sme zabránili ochudobneniu organického odpadu o dusík, musíme ho čo najskôr zapracovať do pôdy.

Podstatou týchto techník je znižovanie voľného povrchu aplikovaného organického odpadu a teda zabránenie tvorby emisií amoniaku. Z tabuľky 3 vyplýva že najúčinnnejšia nízkoemisná technika je hĺbková iniektáž hnojovice. Brázdovalá iniektáž je menej účinná, ale ak si poľnohospodár nedokáže z ekonomického hľadiska danú techniku zabezpečiť, v tom prípade je dostatočná. Prvých 6 hodín po aplikácii unikne 50 % amoniaku, potom emisie klesajú. Preto ak chceme účinne eliminovať emisie z aplikácie organického odpadu do pôdy, hnoj a hnojovicu inkorporujeme ihneď do pôdy alebo ich zaorujeme do 4 hodín od aplikácie. Po 12 hodinách sa účinnosť techniky zníži na 50 % a po 24 hodinách na 30 %, ako je vidieť v tabuľke 3 [1].

Tabuľka 3. Mitigačné opatrenia pri rozmetaní hnojovice do pôdy.

Table 3. Mitigation measures for slurry spreading in to soils.

Mitigačné opatrenia pri rozmetaní	Druh zvierat'a	Redukcia
Pásový postrek	všetky	30 %
Do 4 hodín	všetky	65 %
Do 12 hodín	všetky	50 %
Do 24 hodín	všetky	30 %
Hĺbková iniektáž	všetky	90 %
Brázdovalá iniektáž	všetky	50 %
Ťahané rozmetadlo	všetky	0 %

Zdroj [6]: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/Publications/Ammonia_SR136_28-4_HR.pdf

ANALÝZA MITIGAČNÝCH OPATRENÍ NA SLOVENSKU

V súčasnosti je veľmi ťažké odhadnúť používanie jednotlivých mitigačných opatrení v Slovenskej republike, pretože neexistuje veľa relevantných informácií. SHMÚ disponuje čiastkovými informáciami o mitigačných opatreniach používaných farmármi, ktoré sú evidované v Národnom emisnom informačnom systéme (NEIS). SHMÚ je správcom databázy NEIS podľa zákona Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 137/2010 Z. z.

o ovzduší³ a vyhlášky Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 410/2010 Z. z.,⁴ podľa ktorej farmár - prevádzkovateľ zdroja znečisťovania ovzdušia je povinný poskytovať v rámci „emisného priznania“ okresnému úradu údaje o svojich zdrojoch a emisiách v príslušnom okrese na predpísaných formulároch, resp. ohlasovanie je dostupné aj elektronickou formou. NEIS obsahuje informácie o chovoch, napríklad údaje o počte zvierat, informácie o forme ustajnenia, skladovania hnoja a hnojovice a taktiež aj o používaných mitigačných opatreniach v jednotlivých farmách, ktoré poskytuje prevádzkovateľ.

Databázu nie je možné plne použiť v národných emisných inventúrach z viacerých príčin. Platná legislatíva ukladá povinnosť každoročne nahlasovať údaje pre veľké a stredné zdroje. Malé farmy s podlimitným počtom dobytka, presne stanovenom v právnych predpisoch, sa v NEIS-e z tohto dôvodu neevidujú. Okrem toho databáza neobsahuje emisie amoniaku pre chov kôz a moriek, z dôvodu chýbajúceho príslušného emisného faktora pre tieto druhy zvierat.

Pri bilancii amoniaku v rámci sledovania emisií na národnej úrovni je dobrou praxou sledovať tzv. dusíkový rozpočet⁵. Ide o komplexnejší prístup, kde sa z každej fázy chovu odhadujú straty dusíka vo forme dusíkových emisií (NH_3 , NO , N_2O).

Slovenská republika má okrem amoniaku povinnosť hlásiť aj ostatné dusíkové emisie. Bilancia v rámci NEIS je zameraná iba na emisie amoniaku, čo vyplýva z potrieb a požiadaviek poplatkového zákona (Zákon č. 401/1998 o poplatkoch za znečisťovanie ovzdušia v neskoršom znení 409/2014 Z. z.). Vzhľadom na neúplné vstupy v evidencii NEIS, SHMÚ pripravuje ročne emisnú inventúru vhodnejším a konzistentným spôsobom bilancie, prostredníctvom jedného modelu pre všetky požadované znečisťujúce látky. V modeli je možné použiť národné špecifické emisné faktory s uplatnením princípu ročného dusíkového rozpočtu, ktorý zohľadňuje rozdiely medzi danými rokmi v čase. Národná databáza NEIS je však dobrým nástrojom na verifikáciu údajov z emisnej inventúry.

METODIKA VÝPOČTU EMISIÍ AMONIAKU

Základom výpočtu emisií amoniaku (NH_3) z ustajnenia, skladovania hnoja a hnojovice a ich aplikácií na poľnohospodársku pôdu je determinácia dusíkového exkrecného faktora (N_{EX}). Pre zistenie strát emisií dusíka je najdôležitejšie kvantifikovať koľko dusíka zviera vypoďukuje za rok. Na to nám slúži nasledujúci vzorec [7]:

$$N_{\text{EX}} = N_{\text{rate}(T)} * (TAM/1000) * 365,$$

kde: N_{EX} = ročná dusíková exkrécia, kg N zviera/rok; $N_{\text{rate}(T)}$ = miera dusíkovej exkrécie, kg N (100 kg/váha zvieraťa)/deň (IPCC 2006 GL) and TAM = hmotnosť zvieraťa (kg).

³ Zákon Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 137/2010 Z. z. o ovzduší z 3. marca 2010

⁴ Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 410/2012 Z. z. z 30. novembra 2012, ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o ovzduší

⁵ Nitrogen budget http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/aei_pr_gnb_esms_an1.pdf

Hodnota N_{EX} sa proporčne (percentuálne) prerozdelení medzi jednotlivé systémy hnojového hospodárstva. Percentá sú vypočítané z celkového času zvieraťa, ktorý strávi v ustajnení. Taktiež sa analyzuje druh vzniknutého odpadu (tuhý alebo kvapalný). Hodnota N_{EX} je rovnaká ako pre všetky emisie dusíkové emisie.

Následne sú vypočítané straty dusíka v jednotlivých medzistupňoch. Všetky parametre sú dostupné v tabuľke 4.

V prvom kroku výpočtu sa celkový dusík prerozdelení na dusík, ktorý sa vylúči počas ustajnenia [4].

$$m_{\text{graz}_N} = x_{\text{graz}} * N_{\text{EX}},$$

$$m_{\text{build}_N} = x_{\text{build}} * N_{\text{EX}},$$

kde: m_{build_N} = množstvo exkretovaného dusíka počas ustajnenia (kg N), m_{graz_N} = množstvo exkretovaného dusíka počas pastvy (kg N), x_{graz} = percento času stráveného na pastve (%), x_{build} = percento času stráveného v ustajnení (%), N_{EX} = ročná dusíková exkrécia (kg N zviera/rok).

V druhom kroku sa dusík konvertuje na amoniakálny dusík (TAN). V našom článku o mitigáciách pastvu nezohľadňujeme, preto ju už v nasledujúcich krokoch vynechávame.

$$m_{\text{graz}_{\text{TAN}}} = x_{\text{TAN}} * m_{\text{graz}_N},$$

$$m_{\text{build}_{\text{TAN}}} = x_{\text{TAN}} * m_{\text{build}_N},$$

kde: m_{build_N} množstvo exkretovaného dusíka počas ustajnenia (kg N), m_{graz_N} = množstvo exkretovaného dusíka počas pastvy (kg N), x_{TAN} = konverzný faktor, ktorý konvertuje dusík (N) na amoniakálny dusík (TAN) (Tab. 4), $m_{\text{graz}_{\text{TAN}}}$ = množstvo amoniakálneho dusíka vzniknutého počas pastvy (kg $\text{NH}_3\text{-N}$) $m_{\text{build}_{\text{TAN}}}$ = množstvo amoniakálneho dusíka vzniknutého počas ustajnenia (kg).

V treťom kroku sa TAN rozčlení na tekutú a tuhú časť:

$$m_{\text{build}_{\text{slurry}_{\text{TAN}}}} = x_{\text{slurry}} * m_{\text{build}_{\text{TAN}}},$$

$$m_{\text{build}_{\text{solid}_{\text{TAN}}}} = (1 - x_{\text{slurry}}) * m_{\text{build}_{\text{TAN}}},$$

kde: $m_{\text{build}_{\text{slurry}_{\text{TAN}}}}$ = množstvo tekutého amoniakálneho dusíka deponovaného počas ustajnenia (kg $\text{NH}_3\text{-N}$), $m_{\text{build}_{\text{solid}_{\text{TAN}}}}$ = množstvo tuhého amoniakálneho dusíka deponovaného počas ustajnenia (kg $\text{NH}_3\text{-N}$), $m_{\text{build}_{\text{TAN}}}$ = množstvo exkretovaného dusíka počas ustajnenia (kg $\text{NH}_3\text{-N}$), x_{slurry} = podiel tekutého hnoja (zvyšok je tuhý).

Vo štvrtom kroku sa vypočítajú straty $\text{NH}_3\text{-N}$ z ustajnenia pre tuhú a tekutú časť hnoja tak, že z oddeleného množstva tekutého a tuhého hnoja sa vypočítajú straty použitím emisného faktora. Straty z tuhého hnoja sa zmiešavajú s podstielkou, preto sa preklasifikujú na FYM (podstielka):

$$E_{\text{build}_{\text{slurry}}} = m_{\text{build}_{\text{slurry}_{\text{TAN}}}} * EF_{\text{build}_{\text{slurry}}},$$

$$E_{\text{build}_{\text{solid}}} = m_{\text{build}_{\text{FYM}_{\text{TAN}}}} * EF_{\text{build}_{\text{solid}}},$$

kde: $E_{\text{build}_{\text{slurry}}}$ = strata tekutého amoniakálneho dusíka počas ustajnenia (kg $\text{NH}_3\text{-N}$), $E_{\text{build}_{\text{solid}}}$ = strata tuhého amoniakálneho dusíka počas ustajnenia (kg $\text{NH}_3\text{-N}$), $EF_{\text{build}_{\text{slurry}}}$ = straty počas ustajnenia z tekutého hnoja, $EF_{\text{build}_{\text{solid}}}$ = straty počas ustajnenia z tuhého hnoja (Tab. 4), $m_{\text{build}_{\text{slurry}_{\text{TAN}}}}$ = množstvo tekutého amoniakálneho dusíka deponovaného počas ustajnenia (kg) $m_{\text{build}_{\text{FYM}_{\text{TAN}}}}$ = množstvo tuhého amoniakálneho dusíka deponovaného počas ustajnenia (kg $\text{NH}_3\text{-N}$).

Tabuľka 4.
Koeficienty potrebné
pre výpočet emisií
amoniaku.

Table 4.
Emission factors
and parameters for
ammonia emissions
calculations.

Druh zvierat'a	Druh živočíšneho odpadu	Proporcja TAN	EF _{ustajnenie}	EF _{skladovanie hnoja}	EF _{rozmetanie}
Dojnice	Tekutý	0,6	0,20	0,20	0,55
	Tuhý	0,6	16,9	0,19	0,79
Ostatný hovädzí dobytok	Tekutý	0,6	0,20	0,20	0,55
	Tuhý	0,6	0,19	0,27	0,79
Ovce	Tuhý	0,5	0,22	0,28	0,90
Ošipané - výkrmové	Tekutý	0,7	0,28	0,14	0,40
	Tuhý	0,7	0,27	0,45	0,81
Ošipané - prasnice	Tekutý	0,7	0,22	0,14	0,29
	Tuhý	0,7	0,25	0,45	0,81
Kozy	Tuhý	0,5	0,22	0,28	0,90
Kone	Tuhý	0,6	0,22	0,35	0,90
Nosnice a kohúty	Tuhý	0,7	0,41	0,14	0,69
	Tekutý	0,7	0,41	0,14	0,69
Brojlery	Hlboká podstielka	0,7	0,28	0,17	0,66
Morky	Hlboká podstielka	0,7	0,35	0,24	0,54
Kačice	Hlboká podstielka	0,7	0,24	0,24	0,54
Husi	Hlboká podstielka	0,7	0,57	0,16	0,45

Použitie podstielky pri ustajnení zvierat je dôležité, pretože dokáže zabráňovať volatilizácii dusíka. Na kvantifikáciu zádržnej schopnosti podstielky slúži nasledovná rovnica:

$$m_{ex-build_solid_TAN} = (m_{build_solid_TAN} - E_{build_solid}) \cdot (1 - f_{imm}),$$

kde: $m_{ex-build_solid_TAN}$ = množstvo dusíka ktorý zostane fixovaný v podstielke (kg NH₃-N), $m_{build_solid_TAN}$ = strata tuhého amoniakálneho dusíka ustajnenia (kg NH₃-N), E_{build_solid} = strata tuhého amoniakálneho dusíka počas ustajnenia (kg NH₃-N), f_{imm} = koeficient imobilizácie dusíka v podstielke (0,0067 kg. N.kg⁻¹).

Následne sa počítajú celkové množstvá dusíka a TAN, ktoré aplikujú na poľnohospodársku pôdu. Celé množstvo živočíšneho odpadu sa nie vždy skladuje. Niektorá časť, hlavne hnojovica, sa využíva ako vstupná surovina do bioplynových staníc (x_{feed_slurry}). Táto surovina sa energeticky využíva, preto je vyňatá z poľnohospodárskych emisií. Z tohto vyplýva, že všetok živočíšny odpad využívajúci sa ako vstupná surovina do bioplynovej stanice sa musí z TAN odpočítať:

$$m_{storage_slurry_TAN} = (m_{build_slurry_TAN} - E_{build_slurry}) \cdot x_{store_slurry},$$

$$m_{spread_direct_slurry_TAN} = (m_{build_slurry_TAN} - E_{build_slurry}) \cdot (1 - (x_{store_slurry} + x_{feed_slurry})),$$

kde: $m_{storage_slurry_TAN}$ = celkové množstvo tekutého skladovaného amoniakálneho dusíka (kg NH₃-N), E_{build_slurry} = strata tekutého amoniakálneho dusíka počas skladovania (kg NH₃-N), x_{store_slurry} = podiel skladovaného tekutého hnoja, x_{feed_slurry} = množstvo tekutého amoniakálneho dusíka, ktorý bude použitý ako vstupná surovina do bioplynovej stanice (kg NH₃-N), $m_{spread_direct_slurry_TAN}$ = množstvo tekutého amoniakálneho dusíka aplikovateľného na poľnohospodársku pôdu, $m_{build_slurry_TAN}$ = množstvo tekutého amoniakálneho dusíka deponovaného počas ustajnenia (kg NH₃-N).

$$m_{storage_solid_TAN} = m_{ex-build_solid_TAN} \cdot x_{store_FYM},$$

$$m_{spread_Direct_solid_TAN} = m_{ex-build_solid_TAN} \cdot (1 - (x_{store_solid} + x_{feed_FYM})),$$

kde: $m_{storage_solid_TAN}$ = celkové množstvo tuhého uskladneného amoniakálneho dusíka (kg NH₃-N), $m_{ex-build_solid_TAN}$ = celkové množstvo tuhého deponovaného amoniakálneho

dusíka (kg NH₃-N), E_{build_solid} = strata tuhého amoniakálneho dusíka počas skladovania (kg NH₃-N), x_{store_solid} = podiel skladovaného tuhého hnoja, x_{store_FYM} = podiel skladovaného tuhého hnoja, x_{feed_FYM} = množstvo tuhého amoniakálneho dusíka, ktorý bude použitý ako vstupná surovina do bioplynovej stanice (kg NH₃-N), $m_{spread_Direct_solid_TAN}$ = množstvo amoniakálneho dusíka aplikovateľného na poľnohospodársku pôdu, $m_{build_solid_TAN}$ = množstvo tuhého amoniakálneho dusíka deponovaného počas ustajnenia (kg NH₃-N).

Aby sa zabezpečilo, že všetok tekutý hnoj sa započíta a že nedochádza k duplicite, súčet pomerov x_{store} a x_{feed} musí byť 1. V tomto kroku sa počítajú emisie NH₃ zo skladovania hnoja:

$$E_{storage_slurry_NH3} = m_{storage_slurry_TAN} \cdot (17/14),$$

$$E_{storage_solid_NH3} = m_{storage_solid_TAN} \cdot (17/14),$$

kde: $E_{storage_slurry_NH3}$ = emisie zo skladovania tekutého amoniakálneho dusíka (kg NH₃-N), $E_{storage_solid_NH3}$ = emisie zo skladovania tuhého amoniakálneho dusíka (kg NH₃-N), $m_{storage_slurry_TAN}$ = celkové množstvo skladovaného tekutého dusíka (kg NH₃-N), $m_{storage_solid_TAN}$ = celkové množstvo tuhého amoniakálneho dusíka (kg NH₃-N), 17/14 = stochiometrický koeficient

V nasledovnom kroku sa vypočítajú celkové straty TAN z aplikácie tekutého a tuhého živočíšneho odpadu na poľnohospodársku pôdu. Straty zo skladovania sa musia odčítať, na to slúžia nasledujúce rovnice:

$$m_{applic_slurry_TAN} = m_{spread_Direct_slurry_TAN} + m_{storage_slurry_TAN} - E_{storage_slurry},$$

$$m_{applic_solid_TAN} = m_{spread_Direct_solid_TAN} + m_{storage_solid_TAN} - E_{storage_solid},$$

kde: $m_{applic_slurry_TAN}$ = celkové množstvo aplikovaného tekutého dusíka na poľnohospodársku pôdu (kg NH₃-N), $m_{applic_solid_TAN}$ = celkové množstvo tuhého amoniakálneho dusíka aplikovaného na poľnohospodársku pôdu (kg NH₃-N), $m_{spread_Direct_slurry_TAN}$ = dostupné množstvo tekutého amoniakálneho dusíka aplikovateľného na poľnohospodársku pôdu, $m_{spread_Direct_solid_TAN}$ = dostupné množstvo tuhého amoniakálneho dusíka aplikovateľného na poľnohospodársku pôdu, $m_{storage_slurry_TAN}$ = celkové množstvo skladovaného tekutého dusíka (kg NH₃-N), $m_{storage_solid_TAN}$ = celkové množstvo tuhého amoniakálneho dusíka (kg NH₃-N),

$E_{storage_slurry}$ = emisie zo skladovania tekutého amoniakálneho dusíka (kg NH_3-N), $E_{storage_solid}$ = emisie zo skladovania tuhého amoniakálneho dusíka (kg NH_3-N).

Zo strát sa vypočítajú emisie z priamej aplikácie živočíšnych odpadov na poľnohospodársku pôdu:

$$E_{applic_slurry_NH3} = m_{applic_slurry_TAN} * (17/14),$$

$$E_{applic_solid_NH3} = m_{applic_solid_TAN} * (17/14),$$

kde: $E_{applic_slurry_NH3}$ = emisie z aplikácie tekutého amoniakálneho dusíka (kg NH_3-N), $E_{applic_solid_NH3}$ = emisie zo skladovania tuhého amoniakálneho dusíka (kg NH_3-N), $m_{applic_slurry_TAN}$ = celkové množstvo aplikovaného tekutého dusíka na poľnohospodársku pôdu (kg NH_3-N), $m_{applic_solid_TAN}$ = celkové množstvo tuhého amoniakálneho dusíka aplikovaného na poľnohospodársku pôdu (kg NH_3-N), 17/14 = stechiometrický koeficient [4].

SHMÚ vypracováva bilanciu emisií amoniaku podľa platných metodických príručiek na úrovni Slovenskej republiky použitím údajov zo Štatistického úradu Slovenskej republiky (ŠÚ SR). Pri príprave emisnej inventúry amoniaku sa momentálne neuvažuje použitie žiadnych vyššie spomenutých mitigačných opatrení, z dôvodu, že ŠÚ SR nedisponuje príslušnými informáciami. Naopak,

v NEIS-e, ako už bolo spomenuté, sa čiastkové informácie od veľkých a stredných farmárov nachádzajú. Tieto informácie sú prístupné pre časový rad od roku 2010 – 2016. Pre účely tejto štúdie, boli použité do výpočtu emisií amoniaku práve tieto informácie. Keďže bilancia emisií amoniaku národnou metodikou obsahuje všetky zdroje znečisťovania ovzdušia amoniakom, je potrebné oddeliť veľké a stredné zdroje od malých zdrojov (z hľadiska počtu zvierat). Rozdelenie bolo určené tak, že stavy hospodárskych zvierat z NEIS-u boli odpočítané od stavov hospodárskych zvierat zo ŠÚ SR. Výsledný počet predstavuje množstvo zvierat, ktoré sa nachádza na malých farmách. Tieto boli z bilancie emisií vyňaté. Výsledné rozdelenie sa nachádza v tabuľke 5.

Do bilancie emisií z veľkých a stredných zdrojov boli priradené mitigačné opatrenia uvedené v NEIS-e. Analogicky boli prechádzané všetky farmy a v nich bola zisťovaná prítomnosť opatrení z rozmetania a skladovania hnoja z rôznych druhov hospodárskych zvierat. Výsledkom bol zoznam mitigačných opatrení uplatnených na veľkých a stredných farmách. Ich zoznam zobrazuje tabuľka 6 a 7. Pre lepšiu interpretáciu a využiteľnosť v bilancii emisií amoniaku bolo vypočítané percento vyjadrujúce početnosť mitigačných opatrení na jednotlivých farmách.

Tabuľka 5. Percentuálne rozdelenie stredných, veľkých a malých fariem v Slovenskej republike pre roky 2010 – 2016.

Table 5. Percentage of medium, large and small farms in the Slovak Republic for the years 2010 – 2016.

	Dojnice	Ostatný hovädzí dobytok	Ošipané	Ovce	Kone	Kozy	Nosnice	Brojlery	Kačice a husi
Podiel veľkých a stredných fariem	90,27	58,03	49,30	11,93	0,86	0,00	68,91	100,00	90,27
Podiel malých fariem	9,73	41,97	50,71	88,08	99,14	100,00	31,09	0,00	9,73

Tabuľka 6. Percentuálne rozdelenie aplikovaných mitigačných opatrení pri rozmetaní živočíšnych odpadov [%].

Table 6. Percentage dividing of applied mitigation measures for manure spreading [%].

Použité mitigačné opatrenie	Dojnice	Ostatný hovädzí dobytok	Ovce	Ošipané prasnice	Ošipané výkrm	Kone	Nosnice	Brojlery	Kačice a husi
Pásový postrek	5,7	3,1	0,6	7,6	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Rozmetanie do 24 hodín	18,1	18,7	6,3	12,2	10,6	21,4	3,2	5,4	0,0
Rozmetanie do 12 hodín	47,5	47,8	21,9	49,6	43,6	57,1	13,8	16,2	14,3
Hĺbková inekcia	2,6	0,8	0,0	3,1	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Brázdová inekcia	0,6	0,6	0,0	2,3	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Ťahané rozmetadlo	4,9	5,9	6,3	3,8	3,7	7,1	3,2	4,5	14,3
Predaný hnoj	2,1	2,0	1,9	6,1	7,3	7,1	73,4	59,5	50,0
Žiadne mitigačné opatrenie	8,4	11,0	12,5	4,6	5,0	7,1	2,1	1,8	21,4
Iné mitigačné opatrenie	10,0	10,1	3,1	10,7	12,8	0,0	4,3	12,6	0,0

Tabuľka 7. Percentuálne rozdelenie aplikovaných mitigačných opatrení pri skladovaní živočíšnych odpadov [%].

Table 7. Percentage dividing of applied mitigation measures for manure storage [%].

Použité mitigačné opatrenie	Dojnice	Ostatný hovädzí dobytok	Ovce	Ošipané prasnice	Ošipané výkrm	Kone	Nosnice	Brojlery	Kačice a husi
Bioplynová stanica	0,3	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Biologické prípravky	0,2	0,4	0,0	2,3	2,3	0,0	1,1	1,9	0,0
Pevný poklop alebo zastrešenie	16,7	15,0	0,0	31,3	40,4	0,0	4,4	1,9	0,0
Pokrytie povrchu rašelinou, slamou, al. iným materiálom	4,0	4,1	0,0	3,1	4,7	0,0	2,2	5,6	7,1
Vytvorenie prirodzenej kôry	34,5	36,6	0,0	32,8	22,5	100,0	2,2	5,6	7,1
Zakrytie povrchu nádrže fóliou	2,3	1,7	0,0	3,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Predaný hnoj	1,3	1,3	0,0	3,1	2,8	0,0	71,4	56,5	50,0
Žiadne - voľný povrch	35,3	34,4	100,0	19,5	19,2	0,0	14,3	16,7	35,7
Iné mitigačné opatrenie	5,4	6,2	0,0	4,7	3,8	0,0	4,4	12,0	0,0

V nasledujúcom kroku výpočtu boli celkové emisie amoniaku z veľkých a stredných zdrojov prenasobené početnosťou mitigačných opatrení:

$$Emisia_{NH3 \text{ bez mitigácie}} = E_{NEIS} * P_{mitigácie},$$

kde: E_{NEIS} = celkové emisie amoniaku uvedené v NEIS-e v Gg, $P_{mitigácie}$ = početnosť mitigačných opatrení v %, $Emisia_{NH3 \text{ bez mitigácie}}$ = podiel emisií amoniaku z veľkých a stredných zdrojov uvedených v NEIS-e na jednotlivé mitigačné opatrenia v Gg.

Zároveň boli emisie prerozdelené a znížené o redukčný potenciál mitigačného opatrenia $K_{redukcie}$:

$$Emisia_{NH3 \text{ s mitigáciou}} = E_{NH3 \text{ bez mitigácie}} - (E_{NH3 \text{ bez mitigácie}} * K_{redukcie}),$$

kde: $Emisia_{NH3 \text{ s mitigáciou}}$ = emisie amoniaku po aplikácii mitigačného opatrenia v Gg, $K_{redukcie}$ = redukčný potenciál mitigačného opatrenia.

VÝSLEDKY

Uvedenou úvahou a výpočtom je možné získať porovnanie emisií v časových radoch od roku 2005–2016 bez zohľad-

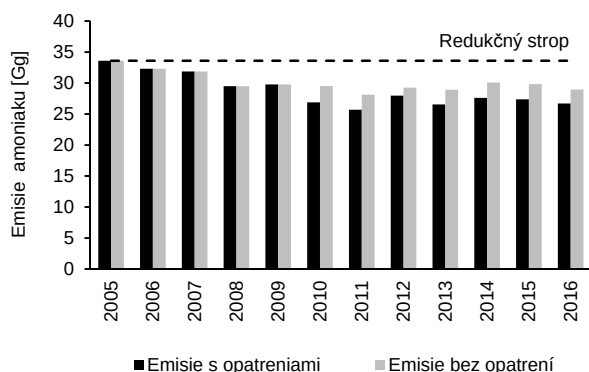
nenia mitigačných opatrení (šedý trend) a s mitigačnými opatreniami (čierny trend) používanými na veľkých a stredných farmách, ako ich deklarujú farmári v NEIS-e (Obr. 1). Emisie bilancované so započítaním redukčného potenciálu jednotlivých implementovaných mitigačných opatrení majú výraznejší klesajúci trend. Dôvodom tohto faktu je, že medzi rokmi 2010–2016 boli implementované postupne viaceré mitigačné opatrenia, s cieľom znížiť náklady na poplatky za znečisťovanie ovzdušia v zmysle platnej legislatívy. V porovnaní s referenčným rokom 2005 je pokles emisií so započítaním redukčného potenciálu mitigačných opatrení na úrovni 18 až 24 %. Emisie amoniaku z kôz a moriek sú rovnaké v oboch typoch emisií, pretože NEIS nedisponuje týmito emisiami ani informáciami o použitých mitigačných opatreniach (Tab. 8). Výsledné vypočítané emisie, pri ktorých boli zohľadnené mitigačné opatrenia pre roky 2010–2016 sú pod stanoveným 15 %-ným stropom, ktoré musí Slovenská republika spĺňať medzi rokmi 2020–2029. Slovenská republika musí prijať dodatočné opatrenia a ich aplikáciu do poľnohospodárstva tak, aby splnila ďalší 30 %-ný redukčný strop po roku 2030.

Tabuľka 8. Porovnanie emisií amoniaku [Gg] bez mitigačných opatrení (BM) a s mitigačnými opatreniami (SM), 2010–2016.
Table 8. Comparison of ammonia emissions [Gg] with (BM) and without (SM) mitigation measures in years 2010–2016.

Názov kategórie NFR	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	BM	SM	BM	SM	BM	SM	BM	SM	BM	SM	BM	SM	BM	SM
Hnojové hospodárstvo - Dojnice	1,764	1,071	1,707	1,036	1,663	1,009	1,602	0,972	1,578	0,958	1,530	0,928	1,456	0,884
Hnojové hospodárstvo - Ostatný hovädzí dobytok	1,800	1,360	1,819	1,375	1,866	1,410	1,878	1,419	1,875	1,417	1,810	1,368	1,749	1,321
Hnojové hospodárstvo - Ovce	0,595	0,543	0,595	0,542	0,616	0,054	0,604	0,551	0,591	0,539	0,587	0,538	0,557	0,508
Hnojové hospodárstvo - Ošipané	1,936	1,391	1,560	1,122	1,758	1,264	1,659	1,193	1,786	1,284	1,781	1,28	1,486	1,113
Hnojové hospodárstvo - Byvoly	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Hnojové hospodárstvo - Kozy	0,070	0,07	0,067	0,067	0,069	1,317	0,070	0,07	0,069	0,069	0,072	0,072	0,072	0,072
Hnojové hospodárstvo - Kone	0,048	0,048	0,047	0,047	0,049	0,049	0,049	0,049	0,047	0,047	0,048	0,048	0,045	0,045
Hnojové hospodárstvo - Muly a somáre	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Hnojové hospodárstvo - Nosnice	2,532	1,879	2,491	1,849	2,536	1,882	2,316	1,718	2,293	1,701	2,453	1,82	2,469	1,832
Hnojové hospodárstvo - Brojlery	1,284	1,058	0,974	0,803	1,047	1,371	0,973	0,802	1,309	1,079	1,294	1,066	1,140	0,94
Hnojové hospodárstvo - Morky	0,070	0,07	0,074	0,074	0,080	0,08	0,084	0,084	0,071	0,071	0,076	0,076	0,076	0,076
Hnojové hospodárstvo - Ostatná hydina	0,110	0,072	0,099	0,091	0,104	0,068	0,115	0,106	0,099	0,091	0,097	0,089	0,094	0,086
Hnojové hospodárstvo - Ostatné zvieratá	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Anorganické dusíkaté hnojivá	4,344	4,344	4,648	4,648	5,050	5,050	5,679	5,679	5,952	5,952	5,739	5,739	6,312	6,312
Aplikácia organických hnojív do pôdy	14,101	14,101	13,184	13,184	13,556	13,556	13,045	13,045	13,548	13,548	13,490	13,49	12,690	12,69
Aplikácia čistiarenských kalov do pôdy	0,004	0,004	0,002	0,002	0,005	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	NO	NO	NO	NO
Aplikácia ostatných organických hnojív do pôdy	0,003	0,003	0,001	0,001	NO	NO	0,000	0,000	NO	NO	0,001	0,001	0,000	0,000
Depozícia moču a hnoja pasúcimi sa zvieratami	0,863	0,863	0,847	0,847	0,863	0,863	0,848	0,848	0,854	0,854	0,846	0,846	0,814	0,814
Sektor poľnohospodárstvo spolu	29,524	26,876	28,117	25,689	29,262	27,977	28,926	26,541	30,073	27,611	29,823	27,361	28,962	26,692
Rozdiel oproti referenčnému roku 2005	-12 %	-20 %	-16 %	-24 %	-13 %	-17 %	-14 %	-21 %	-10 %	-18 %	-11 %	-19 %	-14 %	-21 %

Obrázok 1. Trend emisií amoniaku [Gg] s mitigačnými opatreniami a bez mitigačných opatrení.

Figure 1. Trend of ammonia emissions [Gg] with and without mitigation measures in comparison with target.



ZÁVER

Slovenská republika nemá v súčasnosti vo svojej emisnej inventúre skleníkových plynov a znečisťujúcich látok zo sektoru poľnohospodárstvo implementované mitigačné opatrenia využívané v praxi. Na stretnutiach odborná verejnosť a chovatelia zdieľali názor, že niektoré mitigačné opatrenia sa v chovoch už využívajú. Informácie o chovoch a použitých mitigačných opatreniach absentujú, čo je dôvodom prečo neboli doposiaľ implementované do emisných inventúr. Tvorba emisnej inventúry je každoročne kontrolovaná a do bilancovania sa musia včleniť iba údaje, ktoré sa dajú spätne overiť, prípadne doložiť na základe literatúry. Takéto informácie čiastočne poskytuje NEIS. NEIS bol použitý v tomto článku ako kľúčový zdroj informácií o využívaných mitigačných opatrení pre sledované roky 2010 až roky 2016. Emisie boli následne bilancované s využitím informácií o použitých mitigačných opatreniach. Výsledky naznačujú, že emisie, ktoré boli vypočítané so zohľadnením mitigačných opatrení pre roky 2010–2016 sú pod stanoveným 15 %-ným stropom, ktoré musí Slovenská republika spĺňať medzi rokmi 2020–2029.

Slovenská republika musí prijať dodatočné opatrenia a zároveň ich implementovať do poľnohospodárskej praxe tak, aby splnila ďalší 30 %-ný redukčný strop po roku 2030.

Poskytnutá analýza je zatiaľ len nekompletný odhad a nemá ambíciu nahrádzať oficiálne štatistické zisťovanie. Článok chce poukázať na nedostatok informácií v tejto oblasti, a taktiež poukázať na potrebu každoročného zisťovania na farmách, ak chce Slovenská republika účinne evidovať a aplikovať mitigačné opatrenia na znižovanie emisií amoniaku z poľnohospodárstva.

LITERATÚRA

- [1] Brestenský, V., 2007, *Odstraňovanie a skladovanie hospodárskych hnojív*. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum. [Online]. <http://www.cvzv.sk/poradcovia/brestensky/hosp-hnoj.pdf>.
- [2] Brestenský, V. a kol., 2007, *Straty hmotnosti dusíka pri manipulácii s maštalným hnojom*. Národná poľnohospodárska a potravinárske centrum. [Online] <http://www.cvzv.sk/index.php/sk/poradcovia-cvzv-nitra/148-ing-vojtech-brestensky-csc>.
- [3] Brouček, J., 2014. *Produkcia emisií škodlivých plynov z chovov hovädzieho dobytku a jej znižovanie*. Nitra: Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav živočíšnej výroby Nitra, ISBN: 978-80-89418-37-4.
- [4] EEA, 2016, *Agriculture, 3B Manure management*. European Environment Agency. [Online] <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook>.
- [5] Kremer, A.M., 2013, *Methodology and Handbook Eurostat/OECD, Nutrient Budgets EU-27 in Norway and Switzerland*. Luxembourg: Commission européenne.
- [6] UNECE, 2015, *Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions*. Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. [Online]. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/Publications/Ammonia_SR136_28-4_HR.pdf.
- [7] UNFCCC, 2006, *Agriculture, Forestry and other Land Use Methodology Guideline*. s.l.: ISBN4-87888-032-4.

LETNÉ PERIÓDY TEPLÉHO POČASIA V OBDOBÍ 1951 – 2017 NA SLOVENSKU, IDENTIFIKOVANÉ S VYUŽITÍM PRIESTOROVÝCH HODNÔT TEPLOTNÝCH CHARAKTERISTÍK

DALIBOR VÝBERČI, JOZEF PECHO

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

The article deals with an approach in elaboration of sustained prolonged periods of high air temperature that has not yet been used yet in climatological practice in Slovakia. The study deals with the summer warm spells as events which are considered hot in a relative sense of excessive heat. While assessing the whole territory of Slovakia, the warm spells were identified by using spatial values of temperature characteristics. Six different definitions were applied for the detection of the events in time series. The results indicate marked changes in frequency, duration, intensity and overall severity of the summer warm spells in the long term. Comprehensively, we have determined the August 2015 warm spell as the most severe event within the period under study (1951–2017). We definitely recommend to use presented assessment for the purposes of the future climatological analyses.

Príspevok sa zaoberá na Slovensku doposiaľ nevyužívaným variantom klimatologického spracovania súvislých dlhšie trvajúcich období s vysokou teplotou vzduchu. Práca zachytáva periódy teplého počasia s teplom v relatívnom zmysle slova, zaznamenané v letnej sezóne. Periódy boli pritom identifikované kompaktné pre celé územie Slovenska pomocou priestorových hodnôt teplotných charakteristík. Samotná identifikácia periód v časových radoch bola uskutočnená pomocou šiestich rozličných definícií takýchto období. Preukázané boli nápadné zmeny v dlhodobej početnosti a trvaní, intenzite aj celkovej závažnosti letných periód teplého počasia. Za komplexne najzávažnejšiu, v analyzovanom období 1951–2017 bola na základe výsledkov označená perióda z prvej a druhej dekády augusta 2015. Prezentovaný prístup spracovania odporúčame využívať aj pre účely budúcich klimatologických analýz.

Key words: climate change, weather extremes, temperature events, warm spells, heat, summer, Slovakia

ÚVOD

Stále častejšie, intenzívnejšie a dlhšie obdobia extrémne vysokých teplôt vzduchu, typicky v podobe vln horúčav v najteplejšej časti roka, sú jedným z kľúčových očakávaných prejavov prebiehajúcej klimatickej zmeny (Meehl a Tebaldi, 2004; IPCC, 2014). Univerzálna a široko implementovaná definícia takýchto období však v klimatologickej praxi zatiaľ neexistuje (Kuchcik, 2006; Perkins a Alexander, 2013; Perkins, 2015; Zuo a kol., 2015).

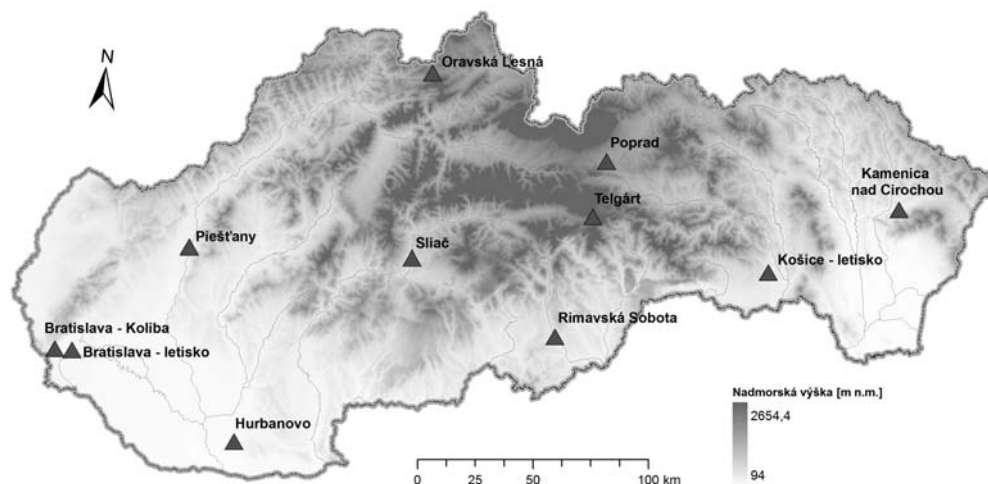
V klimatológii je v každom prípade evidentne dôležité rozlišovať *horúčavy*, kedy je teplo v absolútnom význame (čiže horúco) a (*veľmi*) *teplé obdobia*, kedy je teplo v relatívnom význame, vzhľadom k normálnym teplotám pre príslušnú ročnú dobu. V miernom pásme sú teda horúčavy nevyhnutne časovo obmedzené na teplý polrok, zatiaľ čo teplé obdobia sa môžu vyskytovať v ktorejkoľvek časti roka. Z klimatologického hľadiska sú horúčavy spojené s neobvykle vysokými teplotami, kým teplé obdobia s neobvykle vysokými teplotnými odchýlkami (Nairn a Fawcett, 2015). Súvislé obdobia horúčav sú známe aj ako *vlny horúčav*, teplé obdobia pre zmenu bývajú označované aj ako *teplé periódy*, alebo *periódy teplého počasia*, menej často tiež ako *vlny tepla*.

S ohľadom na rôznorodosť klimatických podmienok a rozmiestnenie obyvateľstva Slovenska sa môže javiť plne adekvátnym, a snáď aj celkovo vhodnejším variantom, uprednostňovať v analýzach definície období vysokých

teplôt v relatívnom význame. Na rozdiel od absolútnych teplotných charakteristík, komparativita teplotných odchýlok medzi lokalitami (stanicami) je totiž spravidla, čo je aj prípad SR, lepšia a priestorovo konzistentnejšia. Relatívne ladené definície teplých období sú preto spôsobilé zahrnúť celé územie krajiny, teda aj s prakticky celým obyvateľstvom a jeho aktivitami, pričom všetky lokality sú si navzájom rovnocenné. Súčasne však treba dbať na to, že je nutné oddeľovať čisto klimatologicko-geografický význam výskytu období vysokých teplôt a na druhej strane prípady, kedy sa orientujeme na zachytenie ich dôsledkov na spoločnosť. Ako klimaticky, tak aj sektorovo so zreteľom na spoločenský dopad, niekedy môže byť stále vhodnejšie využívať teplotne absolútne ladené definície, výber je preto v každom prípade vždy potrebné posudzovať podľa konkrétneho zamerania analýzy (Perkins a Alexander, 2013; Perkins, 2015; Zuo a kol., 2015). Napriek lepšej priestorovej (tak geografickej, ako aj klimatologickej) konzistentnosti období teplého počasia v relatívnom zmysle slova, boli doposiaľ v ucelenejších tradičných klimatologických štúdiách dlhodobej premenlivosti uvedených období na Slovensku dominantne spracúvané vlny horúčav, identifikované pomocou absolútnych teplotných charakteristík (Kolláriková a kol., 2013; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016). Jedinú čiastočnú výnimku možno nájsť v príspevku Šveca a kol. (2016), v ktorých hodnotení sú jedným zo zaradených ukazovateľov aj veľmi teplé periódy, identifikované v relatívnom ponímaní.

Obrázok 1.
Poloha vybraných
klimatických staníc
v rámci hypsometrie
Slovenska.

Figure 1.
Location of selected
climate stations within
the hypsometry
of Slovakia.



Hoci horúčavy, resp. teplé obdobia sú vo väčšine prípadov priestorovo extenzívnymi udalosťami a zasahujú celé územie Slovenska, predsa občas bývajú len regionálneho rozsahu. Práve kvôli takýmto prípadom sa nezdajú byť adekvátnymi kritériá, definované v príspevku Lapina a kol. (2016), po ktorých splnení už na jednej stanici kdekoľvek na Slovensku je vlna horúčav automaticky vzťahovaná aj pre ďalšie stanice z územia krajiny. Náležitou a vhodnou alternatívou veľkoplošného spracovania môže byť hodnotenie na základe priestorových hodnôt príslušných údajov z presne definovaného väčšieho súboru vhodne zvolených, t.j. reprezentatívne rozmiestnených staníc. Pri takomto postupe je očakávateľné, že na zaznamenanie obdobia s platnosťou pre dané (väčšie) územie, v našom prípade pre Slovensko, musia byť klasifikačné kritériá v praxi splnené na väčšine staníc. Doposiaľ žiadna práca s predkladanou problematikou v rámci Slovenska sa spracovaniu uvažovaných období z priestorových hodnôt nevenovala, autori ich spravidla identifikujú na staniciach jednotlivo, s následným vzájomným priestorovým porovnávaním (Kolláriková a kol., 2013; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016).

Fundamentálnym účelom predkladaného príspevku je priniesť nový pohľad na klimatologické spracovanie teplotne výrazných období na Slovensku. Prvým z konkrétnych ústredných motívov je identifikácia periód teplého počasia v relatívnom význame teplotných charakteristík, takže analýza v sebe umožňuje zahrnúť aj mnohé menej exponované lokality z hľadiska výskytu horúčav v absolútnom chápaní. Pre potreby tejto práce sme zámerne zvolili spracovanie v sezóne klimatologického leta, takže identifikované periódy teplého počasia sa podľa predpokladu súčasne prelínajú s obdobiami horúčav v regiónoch s dlhodobou najväčšou frekvenciou ich výskytu v rámci územia SR. Druhým konkrétnym prínosom práce je vymedzenie uvedených udalostí na základe priestorových hodnôt príslušných teplotných charakteristík z väčšieho počtu staníc. Vďaka obom uvedeným princípom spracovania je značne objektívnejšie a zároveň jednoduchšie hodnotiť výskyt období vysokých teplôt v rámci Slovenska ako celku. Pre detekciu periód teplého počasia v časových radoch sme zvolili spolu až 6 konkrétnych definícií (kritérií), vychádzajúc pri tom z globálne odporúčaných postupov pre analýzy tohto druhu. Vo výsledkovej časti pre-

zentujeme základné vyhodnotenie dlhodobej premenlivosti výskytu periód teplého počasia od polovice 20. storočia do súčasnosti a osobitne sa tiež venujeme zhodnoteniu najzávažnejších prípadov spomedzi týchto udalostí.

MATERIÁL A METÓDY

Klimatologické údaje

V analýze boli využité údaje z klimateckej databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu o maximálnej (T_x) a priemernej (T_m) dennej teplote vzduchu z 11 klimatických staníc (Obr. 1) za obdobie 1951–2017. T_m je počítaná z aktuálnych hodnôt teploty vzduchu v troch základných klimatických termínoch o 7., 14. a 21. hodine stredného miestneho času podľa vzorca: $(T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21})/4$.

Stanice vo vyhovujúcej miere reprezentujú celé územie SR, zastupujú jeho rôzne klimatické oblasti a nadmorské výšky. Príslušné časové rady vybraných staníc patria v rámci Slovenska medzi najkvalitnejšie, úplne vynechané z výberu boli stanice, ktorých lokalizácia bola zásadne zmenená. Časové rady v uspokojivej miere spĺňajú kritériá časovej a priestorovej homogenity, ako aj úplnosti charakteristík teploty vzduchu. Jediným zanedbateľným výpadkom v spracovávaných časových radoch boli chýbajúce údaje o maximálnej dennej teplote vzduchu z Oravskej Lesnej v septembri a októbri 1953.

Všetky hodnoty charakteristík teploty vzduchu boli pri výpočtoch zaokrúhľované štandardne s presnosťou na jedno desatinné miesto.

Identifikácia periód teplého počasia

Súvislé dlhšie trvajúce obdobia s nezvykle vysokou teplotou vzduchu nazývame v našej analýze *periódami teplého počasia* (PTP). PTP sme v analýze identifikovali pomocou celkovo šiestich rôznych definícií. Všetky definície sú založené na odchýlkach zaznamenanej teploty vzduchu v každom dni záujmového obdobia od rôzne navrhnutých noriem pre daný deň v roku. Dosiahnutím, resp. prekročením určenej prahovej hodnoty teplotnej odchýlky sú definované teplé dni, ktorých neprerušovaný sled určitého

trvania tvorí PTP. Odchýlky teploty vzduchu pri všetkých definíciách boli počítané pre každú stanicu zvlášť a následným spriemerovaním z nich bola vypočítaná výsledná priestorová hodnota, reprezentatívna pre celé územie Slovenska. V súlade so zameraním štúdie boli PTP v analytickej časti identifikované a hodnotené len v priebehu klimatologického leta (VI – VIII; jún, júl, august).

Prvé tri definície môžeme označiť ako základové. Tvorcom definície /1/ je spoločná pracovná skupina Komisie pre klimatológiu (CCL) a variabilitu klímy (CLIVAR) Svetovej meteorologickej organizácie (WMO). Definícia /2/ predstavuje neskôr navrhnuté spresnenie predchádzajúcej. Túto druhú definíciu publikoval Expertný tím pre detekciu a ukazovatele klimatickej zmeny (ETCCDI), ktorý bol špeciálne vytvorený zo zástupcov troch komisií WMO: CCL, CLIVAR a Komisie pre oceánografiu a marinnú meteorológiu (JCOMM). V prípade definície /3/ ide o ďalšiu, optimalizovanú alternatívu príslušnej skupiny autorov voči predošlým variantom. Definície súvislých období vysokých teplôt /1/ až /3/ sú súčasťou komplexnejších ukazovateľov, ktoré boli navrhnuté ako globálne indikátory klimatickej zmeny. Pre Slovensko, vzhľadom k jeho klimatickým pomerom, neexistujú žiadne obmedzenia vo vhodnosti a použiteľnosti ktorejkoľvek zo základových definícií /1/ až /3/.

Teplotné pomery sú v trojici základových definícií /1/ až /3/ vyjadrené prostredníctvom denných maxim teploty vzduchu T_x . Popri maximálnej teplote je ale identifikácia teplotne výrazných období prípustná a bežne využívaná aj na Slovensku (Výberči a kol., 2015; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016; Výberči a kol., v tlači), tiež na základe priemernej dennej teploty vzduchu T_m . Ku každej z trojice základových definícií sme sa preto rozhodli pridať aj odvodený ekvivalent s využitím priemernej teploty, vid' definície /4/ až /6/.

Použité identifikačné definície PTP sú nasledovné:

- /1/ Podľa Fricha a kol. (2002) séria za sebou idúcich dní, počas ktorých dosiahla odchýlka T_x od dlhodobého priemeru T_x 1961 – 1990 pre daný deň v roku hodnotu viac ako 5 °C.
Minimálna dĺžka trvania obdobia je 6 dní.
- /2/ Podľa ETCCDI (2009) séria za sebou idúcich dní s kladnou odchýlkou T_x od hodnoty 90. percentilu empirickej distribúcie T_x pre daný deň v roku z obdobia 1961 – 1990, pričom hodnoty denných percentilov sú zhladené 5-dennými kľazovými priermi.
Minimálna dĺžka trvania obdobia je 6 dní.
- /3/ Podľa Russo a kol. (2014) séria za sebou idúcich dní s kladnou odchýlkou T_x od hodnoty 90. percentilu empirickej distribúcie T_x pre daný deň v roku z obdobia 1981 – 2010, pričom hodnoty denných percentilov sú zhladené 31-dennými kľazovými priermi.
Minimálna dĺžka obdobia má byť podľa autorov zdrojovej štúdie zvolená s ohľadom na priestorové zameranie analýzy. V našich výstupoch sledujeme obdobia s minimálnym trvaním 6 dní, analogicky k definíciám /1/ a /2/. Toto trvanie bolo navyše už skôr navrhnuté pre európske podmienky (Fischer a Schär, 2010).

/4/ Séria za sebou idúcich dní, počas ktorých dosiahla odchýlka T_m od dlhodobého priemeru T_m 1961 – 1990 pre daný deň v roku hodnotu viac ako 4,4 °C. Táto hodnota bola stanovená ekvivalentne k prahovej hodnote definovanej v rámci definície /1/ (5 °C v prípade odchýlky T_x) a predstavuje hodnotu analogického kvantilu odchýlok T_m v celoročnej distribúcii hodnôt v celom záujmovom období 1951 – 2017.

Minimálna dĺžka trvania obdobia je identická ako pri definícii /1/.

/5/ Identická s definíciou /2/, ale pre T_m .

/6/ Identická s definíciou /3/, ale pre T_m .

V zdrojových štúdiách základových definícií /1/ až /3/ používajú autori pre identifikované súvislé obdobia vysokých teplôt rôzne označenia. Na tomto mieste preto prízvukujeme, že v našej analýze tieto obdobia, s ohľadom na terminologickú korektnosť, interpretujeme pod jednotne zvoleným označením - t.j. PTP.

Taktiež je namieste ešte raz zdôrazniť, že pri všetkých šiestich definíciách prebieha samotná identifikácia PTP už v časových radoch údajov s vypočítanými priestorovými hodnotami pre územie Slovenska.

Vybraný súbor v analytickej časti prezentovaných ukazovateľov zachytáva všetky rozhodujúce atribúty obdobia vysokých teplôt. Zrejme najdôležitejším je *závažnosť* (*severita*) PTP, ktorá je vyjadrená sumou denných teplotných odchýlok nad prahovou hodnotou, dosiahnutie ktorej je potrebné pre klasifikáciu PTP podľa príslušnej definície. Ukazovateľ závažnosti v sebe vhodne kombinuje dve iné základné vlastnosti identifikovaného obdobia: jednak jeho *trvanie*, a taktiež dosiahnutú priemernú magnitúdu denných teplotných odchýlok, čiže *celkovú intenzitu*. Vo výstupoch ďalej tiež sledujeme a prezentujeme *maximálnu dennú intenzitu* PTP, čo je ukazovateľ, charakterizujúci teplotný vrchol (najteplejší deň) periódy, čiže najvyššiu dosiahnutú magnitúdu denných teplotných odchýlok v priebehu celej periódy.

Spomedzi PTP môžeme pri porovnávaní medzi definíciami užšie vyselektovať individuálne udalosti s rámcom vhodným dátumovým zaradením (rozumej napr. perióda na prelome júla a augusta 1994, apod.), ktoré ďalej označujeme ako tzv. *rámcové* PTP. Len v jedinom prípade periódy v druhej polovici augusta 1992 sa stalo, že podľa jedinej definície (/1/) zahŕňalo rámcové obdobie dve rozdelené, kratšie individuálne PTP. Za smerodajnú pre vzájomné porovnanie rámcových PTP sme z dvojice periód v tomto prípade považovali tú s dlhším trvaním a väčšou závažnosťou.

VÝSLEDKY

Podľa jednotlivých definícií /1/ až /6/ bolo na Slovensku v letách v období 1951 – 2017 zaznamenaných 30, 31, 19, 22, 32, resp. 16 PTP (súhrnne 150). Celkovo bolo určených 41 tzv. rámcových PTP, z ktorých 16 bolo identifikovaných všetkými šiestimi použitými definíciami.

Počernosť a trvanie PTP

Zo súhrnného počtu 150 identifikovaných letných PTP sa 127 (84,7 %) vyskytlo po roku 1990 vrátane, 107 (71,3 %) po roku 2000 vrátane a 69 (presne 46 %) v období 2010–2017. Podľa dvojice najaktuálnejších definícií /3/ a /6/, využívajúcich novší operatívny normál 1981–2010, sa v letách pred rokom 1990 vyskytli iba 2 PTP: obe podľa definície /3/ a obe minimálneho možného trvania 6 dní. Z vyššie uvedeného vyplýva, že podľa definície /6/ boli úplne všetky PTP zaznamenané po roku 1990. Zmeny počtosti PTP v analyzovanom období ilustruje tabuľka 1.

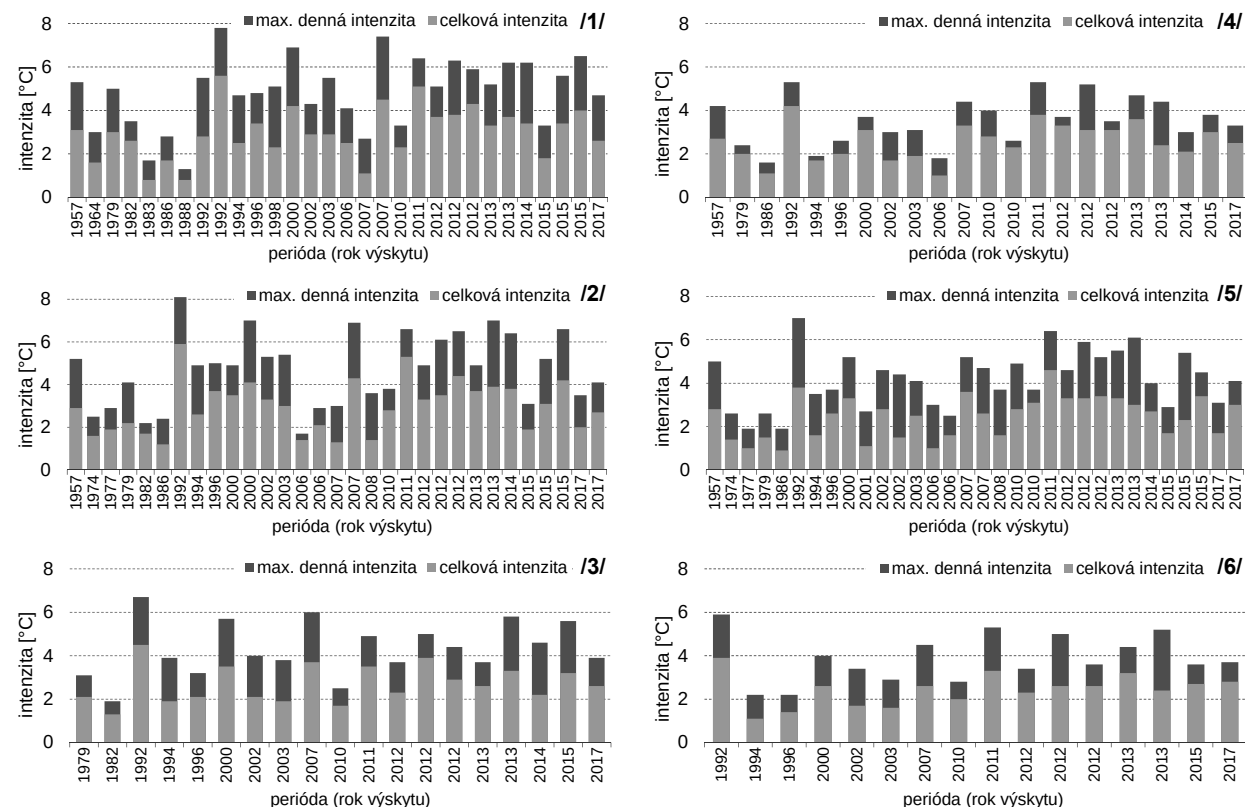
Tabuľka 1. Priemerný ročný počet letných periód teplého počasia (PTP) na Slovensku vo vybraných obdobiach podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/).

Table 1. Mean annual number of the summer warm spells in Slovakia in selected time periods under the respective definitions (/1/ to /6/).

Obdobie	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
1951–1990	0,18	0,15	0,05	0,08	0,13	0,00
1961–1990	0,20	0,17	0,07	0,07	0,13	0,00
1981–2010	0,53	0,50	0,30	0,37	0,53	0,27
1991–2017	0,85	0,93	0,63	0,70	1,00	0,59

Obrázok 2. Celková a maximálna denná intenzita letných periód teplého počasia (PTP) na Slovensku v období 1951–2017 podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Celková intenzita PTP predstavuje priemer denných odchýlok príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP. Maximálna denná intenzita PTP predstavuje v priebehu periódy najvyššiu dennú odchýlku príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP.

Figure 2. Overall and maximal daily intensity of the summer warm spells in Slovakia, 1951–2017, according to respective identification definitions (/1/ to /6/). Overall intensity of a warm spell is determined as an average of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold. Maximal daily intensity of a warm spell is determined as the events' highest value of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold.



Spomedzi 41 rámcových letných PTP sa po roku 1990 vrátane vyskytlo 32 (78,0 %) prípadov. Identifikovaných bolo desať liet s viac ako jednou PTP: 1992, 2000, 2002, 2006, 2007, 2010, 2012, 2013, 2015 a 2017. Maximálne ročné počty PTP boli dosiahnuté po roku 2010, pričom najpozoruhodnejším v tomto ohľade bol rok 2012 s trojicou zaregistrovaných periód podľa každej z definícií.

Priemerné trvanie letnej PTP v sledovanom období 1951–2017 sa v závislosti na použitej definícii pohybovalo od 7,5 do 8,1 dňa. Do roku 1990 sa však výlučne vyskytovali relatívne kratšie periód: väčšinou s najkratším možným trvaním 6 dní a niekoľko prípadov 7-dňových PTP. Po uvedenom roku sa v súčasnosti stal bežným aj výskyt dlhších periód (viď aj Tab. 4 ďalej v texte výsledkovej časti), pričom priemerné trvanie v tomto období dosiahlo podľa jednotlivých definícií 7,6 až 8,4 dňa.

Intenzita PTP

Obrázok 2 znázorňuje intenzitu jednotlivých letných PTP a následne tabuľka 2 zmeny intenzity v analyzovanom období. Značná väčšina udalostí sa síce vyskytla až v druhej polovici analyzovaného obdobia, no nárast intenzity je aj tak dobre vyjadriteľný v prípade celkovej intenzity periód, a rovnako pri maximálnej dennej intenzite.

Tabuľka 2. Priemerné hodnoty celkovej a maximálnej dennej intenzity individuálnych letných období teplého počasia (PTP) na Slovensku vo vybraných obdobiach podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Celková intenzita PTP predstavuje priemer denných odchýlok príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP. Maximálna denná intenzita PTP predstavuje v priebehu periódy najvyššiu dennú odchýlku príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP.

Table 2. Average values of overall and maximal daily intensity of the individual summer warm spells in Slovakia in selected time periods under the respective identification definitions (/1/ to /6/). Overall intensity of a warm spell is determined as an average of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold. Maximal daily intensity of a warm spell is determined as the events' highest value of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold.

Obdobie	Celková intenzita [°C]						Obdobie	Maximálna denná intenzita [°C]					
	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/		/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
1951 – 1990	1,9	1,9	1,7	1,9	1,5	-	1951 – 1990	3,2	3,2	2,5	2,7	2,8	-
1961 – 1990	1,8	1,7	1,7	1,6	1,2	-	1961 – 1990	2,9	2,8	2,5	2,0	2,3	-
1981 – 2010	2,7	2,8	2,5	2,3	2,3	2,1	1981 – 2010	4,5	4,5	4,2	3,1	4,1	3,5
1991 – 2017	3,3	3,2	2,8	2,7	2,6	2,4	1991 – 2017	5,4	5,1	4,6	3,6	4,5	3,9

Všeobecne vzaté, možno vidieť, že v porovnaní s obdobím pred rokom 1990 vzrástla celková intenzita zaznamenaných období po uvedenom roku v priemere aj o vyše 1 °C. Stúpla pochopiteľne aj maximálna intenzita v najteplejších dňoch období, a to vo všeobecnosti ešte výraznejšie, osobitne pri PTP, definovaných s využitím maxim teploty vzduchu (definície /1–3/).

Závažnosť PTP a najzávažnejšie individuálne PTP

V súlade s predĺžovaním trvania a zvyšovaním intenzity individuálnych letných PTP sa v súčasných klimatických pomeroch nápadne zvýšila aj ich závažnosť, ako je možné vidieť v tabuľke 3.

Tabuľka 3. Priemerná závažnosť individuálnych letných období teplého počasia (PTP) na Slovensku vo vybraných obdobiach podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Závažnosť PTP predstavuje sumu denných odchýlok príslušnej teplotnej charakteristiky od prahovej hodnoty pre klasifikáciu PTP.

Table 3. Average severity of the individual summer warm spells in Slovakia in selected time periods under the respective identification definitions (/1/ to /6/). Severity of a warm spell is determined as a sum of the respective temperature characteristics' daily anomalies above the classification threshold.

Obdobie	Závažnosť [°C]					
	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
1951 – 1990	12,0	11,8	10,1	11,5	9,9	-
1961 – 1990	10,9	10,7	10,1	9,3	8,1	-
1981 – 2010	21,6	22,6	20,2	17,3	19,7	16,1
1991 – 2017	27,1	25,9	22,1	20,2	21,7	18,1

Hľadanie najextrémnejších letných PTP z hľadiska ich závažnosti (kombinovaný účinok trvania a intenzity) možno v zásade obmedziť na 16 rámcových PTP, ktoré boli súčasne identifikované každou zo šiestich zvolených definícií (Tab. 4). Medzi týchto 16 prípadov patria všetky historicky najvýznamnejšie a odborne najdiskutovanejšie letné série teplých dní, ktorým Slovensko v analyzovanom období čelilo. Medzi absolútne najzávažnejšie letné PTP na Slovensku minimálne od roku 1951 môžeme celkom

evidentne zaradiť periódy v auguste 1992, júli 2007, na prelome júna a júla 2012 a v auguste 2015. Práve tieto periódy dosiahli podľa všetkých použitých definícií najkompaktnejšie, stabilne najvyššie hodnoty ukazovateľa závažnosti, a to ako podľa definícií s maximami, tak aj s využitím priemernej dennej teploty. PTP z prelomu júla a augusta 1994 skončila podľa väčšiny definícií ako najdlhšia zaznamenaná PTP s trvaním 16–18 dní, no hneď podľa dvojice definícií s priemernou dennou teplotou bola významne kratšia, čo sa výrazne prejavilo aj v nižších príslušných hodnotách ukazovateľa závažnosti.

DISKUSIA

Zámerom nášho príspevku bolo čisto tradičné klimatologické hodnotenie teplotne výrazných období. Použili sme tri základové a tri z nich odvodené definície daných období na základe globálne odporúčaných postupov, vychádzajúcich z návrhov kľúčových medzinárodných organizácií v oblasti počasia a klímy. S ohľadom na priestorové zameranie sú však prípustné určité modifikácie uvedených definícií, typicky v prípade trvania obdobia. Napríklad Lapin a kol. (2016) odporúčajú na úrovni Slovenska minimálne trvanie už 5 dní namiesto tu prezentovaných 6 dní.

Vzhľadom k čisto klimatologickému zameraniu štúdie sme nevyužili ďalšie dostupné postupy identifikácie období vysokých teplôt, ktoré sú súčasne orientované aj na ich dôsledky, napr. zaujímavý komplexnejší prístup Nairna a Fawcetta (2015), zohľadňujúci záťaž nadmerným teplom. Nakoľko jedným z ústredných motívov nášho príspevku bolo hodnotenie nadmerného tepla vzhľadom k obvyklým teplotám v ročnom chode, pri detekcii období sme z pochopiteľných dôvodov ignorovali definície, využívajúce vopred stanovené prahové hodnoty absolútnych denných maxim a priemerov teploty vzduchu, ako je to napr. v prácach Kollárikovej a kol. (2013), či Lapina a kol. (2016).

K použitým metódam spracovania je ešte potrebné poznamenať, že spomedzi šiestich použitých definícií PTP štyri /1, 2, 4, 5/ využívajú normálové obdobie 1961–1990 a príslušné zistené skutočnosti teda odrážajú stav vzhľadom k obdobiu pred markantným nástupom klimatickej zmeny.

Tabuľka 4. Vybrané letné periódy teplého počasia (PTP) na Slovensku v období 1951–2017 a hodnoty ich vybraných charakteristík podľa jednotlivých použitých definícií (/1/ až /6/). Tabuľka obsahuje len periódy, identifikované súčasne všetkými šiestimi definíciami.

Table 4. Selected summer warm spells in Slovakia, 1951–2017, and values of their selected characteristics under the respective definitions (/1/ to /6/). Only the events identified by all six definitions are captured in the table.

Rámcové časové zaradenie PTP	Dátumový interval max. trvania	Trvanie [dni]						Závažnosť = suma teplotných odchýlok nad prahovou hodnotou [°C]					
		/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/	/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/
druhá polovica augusta 1992	19. – 31.8.	7	7	7	7	13	7	39,5	41,6	31,3	29,1	48,8	27,4
prelom júla a augusta 1994	22.7. – 8.8.	18	17	16	9	17	9	44,1	44,6	30,1	14,9	27,7	9,8
prvá polovica júna 1996	7. – 12.6.	6	6	6	6	6	6	20,4	22,3	12,8	12,0	15,5	8,1
druhá a tretia dekáda augusta 2000	16. – 22.8.	7	7	7	6	7	7	29,6	28,7	24,2	18,6	22,9	17,9
druhá a tretia dekáda júna 2002	15. – 24.6.	7	7	7	10	7	7	20,5	23,0	14,6	17,0	19,6	11,8
prvá polovica júna 2003	2. – 13.6.	11	10	10	12	10	10	31,6	30,3	19,1	22,2	25,1	16,0
druhá a tretia dekáda júla 2007	15. – 23.7.	9	9	8	9	9	9	40,8	38,6	29,9	29,6	32,3	23,7
polovica júla 2010	10. – 17.7.	8	8	7	8	8	7	18,2	22,2	11,8	18,2	24,8	14,2
tretia dekáda augusta 2011	22. – 27.8.	6	6	6	6	6	6	30,3	31,6	20,8	22,9	27,8	19,5
druhá polovica júna 2012	16. – 21.6.	6	6	6	6	6	6	22,2	19,9	14,0	19,9	19,7	14,0
prelom júna a júla 2012	29.6. – 11.7.	13	13	9	11	11	10	49,5	45,6	34,7	34,6	35,9	26,4
druhá polovica augusta 2012	19. – 25.8.	7	7	7	6	7	6	30,1	30,9	20,0	18,3	23,7	15,4
druhá a tretia dekáda júna 2013	15. – 22.6.	7	6	6	7	8	6	23,3	22,2	15,4	25,2	26,1	19,3
prvá dekáda augusta 2013	2. – 9.8.	8	8	8	8	8	8	29,9	31,4	26,2	18,8	24,0	19,5
prvá a druhá dekáda augusta 2015	4. – 16.8.	12	12	13	10	11	11	47,8	49,9	41,4	29,8	37,5	29,6
prelom júla a augusta 2017	30.7. – 5.8.	7	7	6	7	7	6	18,3	18,8	15,7	17,2	21,3	16,8

Pozn.: **Tučným fontom sú zvýraznené najvyššie hodnoty príslušného ukazovateľa.**

Dvojica použitých definícií PTP /3/ a /6/ však využíva novší operatívny normál 1981–2010, a východiskovo tak charakterizuje výskyt periód v aktuálnej klíme (viď zdrojovú publikáciu Russo a kol., 2014). Znamená to, že priame vzájomné porovnávanie či kombinovanie výsledkov medzi týmito dvoma množinami definícií by neposkytovalo objektívny obraz o zachytenom stave výskytu PTP. Z uvedeného dôvodu sme sa takéto hodnotenia a formulácie v práci snažili eliminovať.

Aj naše výsledky zreteľne potvrdzujú pozorované prejavy klimatickej zmeny na území Slovenska, čo je v súlade so zisteniami iných publikovaných prác (Faško a kol., 2008, 2013; Kolláriková a kol., 2013; Labudová a kol., 2015; Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016). Je pozoruhodné, že ku koncu analyzovaného obdobia sa častejšie zopakovali prípady veľmi závažných letných PTP: 2007, 2012, 2015. V prípade vytvorenia vhodnej perzistentnej poveternostnej situácie, môžu budúce periódy v našom regióne dosiahnuť aj rekordne dlhé trvanie. V kombinácii s narastajúcou intenzitou týchto udalostí sa tak v budúcnosti nedá vylúčiť výskyt abnormálne teplých periód. Slovensko v rámci stredoeurópskeho priestoru ešte nezaznamenalo svoju novodobú tzv. *megavlnu* horúčav, čo je pojem, ktorý sa medzi klimatológmi objavil v reakcii na bezprecedentné epizódy v lete 2003 v Západnej Európe, resp. v lete 2010 v európskej časti Ruska a najnovšie tiež v júni 2017 v Západnej Európe (Barriopedro a kol., 2011; Fischer, 2014; Sánchez-Benítez a kol., 2018).

Ak by sme na základe výsledkov mali určiť práve jednu absolútne najzávažnejšiu PTP na území Slovenska, pri komplexnejšom pohľade na všetky atribúty naprieč všetkými použitými definíciami môžeme uvedeným prívlastkom označiť periódu v prvých dvoch dekádach augusta 2015. Uvedená udalosť doposiaľ nebola konkrétne

hodnotená v žiadnej tradičnej klimatologickej analýze v rámci územia Slovenska, zdá sa však, že si rozhodne zaslúži väčšiu odbornú pozornosť, a to aj s ohľadom na evidované následky. Stala sa napr. absolútnym počtom indukovaných nadbytočných úmrtí najsmrteľnejšou horúcou letnou epizódou na Slovensku minimálne od roku 1996, pričom bola výnimočne pozoruhodnou udalosťou aj ďalšími sprievodnými prejavmi v režime úmrtnosti (Výberčí a kol., v tlači).

Absolútne hodnoty teploty vzduchu v priebehu PTP

Pre vykreslenie výskytu horúčav v absolútnom význame pridávame v rámci diskusie aj základný popis teplotných pomerov z hľadiska dosiahnutých absolútnych denných maxim T_x a priemerov T_m počas identifikovaných PTP.

Pokiaľ ide o periódy identifikované s využitím T_x (definície /1–3/; súhrnne 80 PTP), na niektorej zo súboru 11 použitých staníc bola v rámci každej identifikovanej PTP dosiahnutá T_x aspoň 31,8 °C. V jednotlivých dňoch trvania periód pritom teplotné maximá na aktuálne najteplejšej zo staníc nikdy neklesli pod hodnotu 29,1 °C. Dosahované hodnoty T_x v najteplejších lokalitách každopádne vyhovujú v praxi používaným postupom pre vyčlenenie vln horúčav pomocou prahových hodnôt denných maxim. Napríklad, konkrétne kritéria v Strednej Európe často používané metodiky Kyselého a kol. (2000) sú v priebehu nami identifikovaných PTP napĺňované v najteplejších lokalitách dokonca s veľkou rezervou.

Pri periódach identifikovaných s využitím T_m (definície /4–6/; súhrnne 70 PTP) bola na niektorej zo staníc v niektorom z dní každej PTP zaregistrovaná T_m 24,9 °C a vyššia. V jednotlivých dňoch pritom T_m na aktuálne najteplejšej zo staníc vždy dosiahla hodnotu 21,3 °C a viac.

Relatívne nižšie maximá a denné priemery teploty vzduchu v priebehu PTP sa prirodzene vyskytovali výlučne v prípade PTP na začiatku júna. V pokročilejších štádiách leta už boli pochopiteľne bežnými väčšie extrémy, akými sú napr. často diskutované supertropické maximá ($\geq 35^\circ\text{C}$), či denné priemery $\geq 27^\circ\text{C}$. V tomto kontexte je však nutné prihliadať na to, že účinky teplého počasia na spoločnosť počas skorého leta môžu byť špecifického charakteru. Napríklad, na začiatku leta je evidované podstatne vyššie riziko teplom podmieneného úmrtia než v neskorom lete, pretože existujú zásadné intrasezónne rozdiely aj v charaktere tepelno-úmrtnostných vzťahov (Gasparrini a kol., 2016).

Značná časť územia Slovenska s nezanedbateľnou časťou jeho obyvateľstva patrí podľa klimatických klasifikácií do chladnejších oblastí, kde je výskyt obzvlášť vysokých absolútnych maxim teploty vzduchu aj v súčasnej klíme stále sporadický, prípadne sa v určitých lokalitách nevyskytujú vôbec. Avšak napríklad v súčasnom humánno-bioklimatologickom výskume je pri hodnotení nadmerným teplom indukovaného úmrtnosti široko akceptovanou skutočnosť, že človek viac reaguje na odchýlky teploty vzduchu než na jej absolútne hodnoty. Tento stav sme zistili aj pri výbere prediktora úmrtnosti pri spracovaní štúdie o letálnych účinkoch letných epizód so zvýšeným teplotným stresom na celé slovenské obyvateľstvo (Výberčí a kol., 2015). To znamená, že možno dôvodne predpokladať, že napr. u priemerného Oravčana leží prah vnímavosti na vysoké teploty nižšie než u priemerného obyvateľa Podunajskej roviny, takže rovnaká teplota môže vyvolať markantné negatívne zdravotné dôsledky na Orave, zatiaľ čo v Komárne nemusia byť pozorované žiadne významné následky.

ZÁVER

Súvislé dlhšie trvajúce obdobia so zvýšenou teplotou vzduchu, obzvlášť v priebehu leta, sú dôležitým prejavom prebiehajúcej klimatickej zmeny, v súčasnosti je preto ich hodnoteniam naďalej potrebné prisudzovať náležitú pozornosť a význam. V práci sme aplikovali na Slovensku doteraz prakticky nevyužívaný prístup k detekcii takýchto období. Samotné použitie všetkých vybraných definícií teplých období v relatívnom význame sa zdá byť v podmienkach Slovenska bezproblémové. Našimi postupmi identifikované PTP tiež dobre korešpondujú s výskytom tropických maxim a vysokých denných priemerov teploty vzduchu v najteplejších oblastiach Slovenska. V týchto horúčavami zasahovaných lokalitách je tak zachovaná absolútna magnitúda indukovaného teplotného stresu, a teda aj v tomto aspekte má u nás definovanie období vysokých teplôt v relatívnom význame svoje opodstatnenie. Vzhľadom k súčasnej väčšej objektívnosti pri porovnávaní viacerých lokalít a množstvu ďalších výhod oproti absolútne ladeným definíciám doporučujeme ich uprednostňovanie pre tradičné klimatologické analýzy. Pre budúce celoslovenské hodnotenia môžeme tiež v rámci prezentovaného prístupu bez významnejších obmedzení odporučiť spracovanie na základe priestorových hodnôt z reprezentatívnych staníc.

Ktorúkoľvek z prezentovaných metodík definovania teplotne význačných období možno v budúcnosti využiť

pre celoročné aj akokoľvek inak sezónne obmedzené spracovania. Analogickým spôsobom sú postupy aplikovateľné pre analýzu dolných extrémov teploty vzduchu, pričom ich tiež možno použiť aj pre spracovanie charakteristiky minimálnej dennej teploty vzduchu. Definície možno taktiež aplikovať aj pre hodnotenia na jednotlivých staniaciach, či regionálne analýzy akéhokoľvek priestorového rozsahu. Nezanedbateľnou výhodou prezentovaného prístupu tiež je, že výsledky sú široko komparabilné s inými analýzami tohto typu, a to v podstate až na globálnej úrovni.

Naše výsledky naznačujú, že dlhšie trvajúce periódy (veľmi) teplého počasia sa na Slovensku stávajú bežnou súčasťou súčasných liet, pričom sa predĺžilo ich trvanie a rastie aj ich intenzita. Ku koncu analyzovaného obdobia 1951–2017 sa dokonca zopakovali periódy so značne zvýšenou celkovou závažnosťou. Známe periódy z rokov 1992 a 1994 boli na Slovensku v rámci nastúpivšej klimatickej zmeny akýmisi „pionierskymi“ prípadmi takýchto udalostí, je však celkom evidentné, že klimatologicky už majú svojich plnohodnotných, pri komplexnom vnímaní zdá sa aj prominentnejších nástupcov. Za všestranne najvýznamnejšiu zaznamenanú letnú periódu teplého počasia na území Slovenska zatiaľ môžeme považovať udalosť z augusta 2015.

LITERATÚRA

- Barriopedro, D.–Fischer, E.M.–Luterbacher, J.–Trigo, R.M.–García-Herrera, R., 2011, *The hot summer of 2010: re-drawing the temperature record map of Europe*. *Science* 332:220–224.
- ETCCDI, 2009, *Climate Change Indices: Definitions of the 27 core indices*. [Dostupné online na: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml.]
- Faško, P.–Lapin, M.–Pecho, J., 2008, *20-year extraordinary climatic period in Slovakia*. *Meteorologický časopis* 11: 99–105.
- Faško, P.–Šťastný, P.–Švec, M.–Kajaba, P.–Bochníček, O., 2013, *Upward trends in time series of basic characteristics of air temperature at selected meteorological stations in Slovakia*. 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology, Reading (United Kingdom), 9.–13.9.2013. [Dostupné online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2013/poster/13144/>]
- Fischer, E.M.–Schär, C., 2010, *Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves*. *Nature Geoscience* 3(6): 398–403.
- Fischer, E.M., 2014, *Autopsy of two mega-heatwaves*. *Nature Geoscience* 7(5): 332–333.
- Frich, P.–Alexander, L.V.–Della-Marta, P.–Gleason, B.–Haylock, M.–Klein Tank, A.M.G.–Peterson, T., 2002, *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*. *Climate Research* 19: 193–212.
- Gasparrini, A.–Guo, Y.–Hashizume, M.–Lavigne, E.–Tobias, A.–Zanobetti, A.–Schwartz, J.D.–Leone, M.–Michelozzi, P.–Shilu Tong, H.K.–Honda, Y.–Kim, H.–Armstrong, B.G., 2016, *Changes in susceptibility to heat during the summer: a multicountry analysis*. *American Journal of Epidemiology* 183(11): 1027–1036.
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assess-*

- sment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ženeva, 151 p.
- Kolláriková, P.–Szolgay, J.–Pecho, J., 2013, Long-term changes in selected characteristics of heat waves in Slovakia. *Meteorologický časopis* 16: 63–69.
- Kuchcik, M., 2006, Defining heat waves - different approaches. *Geographica Polonica* 79(2): 47–63.
- Kyselý, J.–Kalvová, J.–Květoň, V., 2000, Heat waves in the South Moravian region during the period 1961–1995. *Studia Geophysica et Geodaetica* 44(1): 57–72.
- Labudová, L.–Faško, P.–Ivaňáková, G., 2015, Changes in climate and changing climate regions in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23(3): 71–82.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Turňa, M.–Čepčáková, E., 2016, High temperatures and heat waves in Slovakia. *Meteorologický časopis* 19: 3–10.
- Meehl, G.A.–Tebaldi, C., 2004, More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305: 994–997.
- Nairn, J.R.–Fawcett, R.J.B., 2015, The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heat-wave severity. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12: 227–253.
- Perkins, S.E., 2015, A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. *Atmospheric Research* 164: 242–267.
- Perkins, S.E.–Alexander, L.V., 2013, On the measurement of heat waves. *Journal of Climate* 26: 4500–4517.
- Russo, S.–Dosio, A.–Graversen, R.G.–Sillmann, J.–Carrao, H.–Dunbar, M.B.–Singleton, A.–Montagna, P.–Barbola, P.–Vogt, J.V., 2014, Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119: 12500–12512.
- Sánchez-Benítez, A.–García-Herrera, R.–Barriopedro, D.–Souza, P.M.–Trigo, R.M., 2018, June 2017: The earliest European summer mega-heatwave of reanalysis period. *Geophysical Research Letters* 45(4): 1955–1962.
- Švec, M.–Faško, P.–Labudová, L.–Výberči, D.–Trizna, M., 2016, Longterm changes in the characteristics of heat stress in the summer in Slovakia. *Geographia Cassoviensis* 10: 193–203.
- Výberči, D.–Švec, M.–Faško, P.–Savinová, H.–Trizna, M.–Mičietová, E., 2015, The effects of the 1996–2012 summer heat events on human mortality in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23(3): 58–70.
- Výberči, D.–Labudová, L.–Eštoková, M.–Faško, P.–Trizna, M., v tlači, Human mortality impacts of the 2015 summer heat spells in Slovakia. *Theoretical and Applied Climatology*.
- Zuo, J.–Pullen, S.–Palmer, J.–Bennets, H.–Chileshe, N.–Ma, T., 2015, Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *Journal of Cleaner Production* 92: 1–12.

MOŽNOSTI OPERATÍVNEJ DETEKcie NEBEZPEČNÝCH KONVEKTÍVNYCH JAVOV POMOCOU ŠTANDARDNÝCH PRODUKTOV RÁDIOLOKAČNEJ SIETE SHMÚ

CYRIL SIMAN

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Odbor Meteorologické predpovede a výstrahy, cyril.siman@shmu.sk

In Slovak Hydrometeorological Institute data from four new dualpolarization radiolocators have been being used since 2016. The conditions for detection of precipitation have improved significantly, especially in central Slovakia. Besides possibility to identify basic structures on the field of radar reflectivity (CAPPI 2 km), we also have others – standard products to determine the approximate water content in a defined troposphere layer, the type of precipitation, or radial particle velocity.

The contribution deals with use of SHMÚ radar products for the analysis of dangerous weather phenomena, such as supercell, bow echo and downburst. For this purpose, cases from the storm season 2017 were selected. An example of supercell in the east of Slovakia its typical features are presented, identified both in the field of radar reflectivity and in the field of Doppler velocity. A convective structure is also described, that was defined by typical features in the field of radar reflectivity in bow shape, is presented. An important part of the article is also a comparison of the Doppler velocity patterns typically occurring in the downburst and supercell. In this article there are provided radar images together with measurements from SHMÚ stations network, and also with photos of Slovak inhabitants who were affected by above mentioned severe weather events.

V Slovenskom hydrometeorologickom ústave sú od roku 2016 využívané údaje zo štyroch nových dualpolarizačných rádiolokátorov. Výrazne sa tak zlepšili podmienky detekcie zrážok, a to predovšetkým na území stredného Slovenska. Okrem možnosti identifikácie základných štruktúr na poli rádiolokačnej odrazivosti (CAPPI 2 km), máme k dispozícii aj ďalšie – štandardné produkty, pomocou ktorých dokážeme určiť približný obsah vody v zadanom vrstve troposféry, typ zrážok alebo radiálnu rýchlosť častíc.

Príspevok sa venuje využitiu rádiolokačných produktov SHMÚ na analýzu nebezpečných konvektívnych štruktúr akými sú napríklad supercela, bow echo a downburst. Na tento účel boli vybrané prípady z búrkovej sezóny v roku 2017. Na príklade supercely na východe Slovenska sú prezentované jej typické črty, identifikované na poli rádiolokačnej, ale aj na poli dopplerovskej rýchlosti. Opísaná je tiež konvektívna štruktúra, ktorá bola definovaná práve na základe svojej typickej črty na poli rádiolokačnej odrazivosti v tvare oblúka – bow echo. Dôležitou časťou článku je tiež porovnanie črt na poli dopplerovskej rýchlosti, ktoré sa typicky vyskytujú pri downburste a supercele. Rádiolokačné snímky sú v článku doplnené meraniami zo siete staníc SHMÚ, ale aj fotografiami dotknutých obyvateľov Slovenska.

Key words: doppler radar, mesoscale convective system, supercell, bow echo, downburst

ÚVOD

Družicové a radarové dáta sa radia do vedného odboru dištančných meraní. Od pozorovaní *in situ* sa líšia tým, že informácie o javoch a objektoch získavajú pomocou analýzy údajov zo zariadení, ktoré nie sú v priamom kontakte s cieľom skúmania (Jurašek a kol., 2009). Meteorologický rádiolokátor patrí medzi jedno z najefektívnejších zariadení na detekciu zrážok a poskytuje informáciu o zrážkach v dosahu 0–250 km od rádiolokátora (v prípade SHMÚ je dosah radarov 240 km).

Rádiolokačné merania a prijímanie družicových údajov sa na území Slovenska začali v roku 1972 vo Výskumnovývojovom meteorologickom rádiolokačnom stredisku VMRS na Malom Javorníku.

V roku 1974 bolo v Šuranoch vybudované experimentálne pracovisko, ktoré plnilo výskumné úlohy týkajúce sa pozorovania tvaru kvapiek a pevných častíc v búrkových oblakoch a od roku 1980 sa spustilo prvé vysielanie zlúčenej rádiolokačnej informácie z dvoch rádiolokátorov, Praha-Libuš a Bratislava-Malý Javorník.

Koncom 90. rokov 20. st. a v prvých rokoch 21. st., došlo k nahradeniu pôvodne sovietskych meteorologických radarov pracujúcich na vlnových dĺžkach 3 a 10 cm, novými rádiolokátormi. K rádiolokátoru umiestnenom na Malom Javorníku v nadmorskej výške 584 m n. m. pribudol v roku 2005 rádiolokátor postavený na Kojšovskej holi (1260 m n. m.) vo Volovských vrchoch. Slovenskú rádiolokačnú sieť tak ešte donedávna tvorila dvojica rádiolokátorov pracujúcich na vlnovej dĺžke 5 cm (C pásmo). V máji 2015 začala výmena technológie meteorologického radaru na Malom Javorníku za nový dualpolarizačný radar a od júna toho istého roku nasledovala výmena zariadenia na Kojšovskej holi. Okrem nových radarov na Malom Javorníku a Kojšovskej holi pribudli v roku 2016 aj 2 úplne nové radarové body na Kubínskej holi (okolo 1300 m n. m.) a Špaňom laze (643 m n. m.).

Údaje z družíc a rádiolokátorov sa postupne stali bežnou súčasťou meteorologickej prevádzky nie len na Slovensku, ale takmer kdekoľvek na svete. Ich využitie v meteorológii sa v súčasnosti najviac uplatňuje pri tvorbe veľmi krátkodobej predpovede (tzv. *nowcasting*) a pri

vydávaní meteorologických výstrah, predovšetkým na nebezpečné prejavy počasia spojené s búrkami.

Článok analyzuje vybrané prípady s výskytom konvektívnych javov na Slovensku v búrkovej sezóne 2017, ktoré sme identifikovali a analyzovali s využitím štandardných rádiolokačných produktov. Nebezpečné prejavy počasia s nimi spojené boli potvrdené aj meraniami zo siete staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu alebo doplnené hláseniami (fotografiami) dotknutých obyvateľov Slovenska. Cieľom príspevku je na niekoľkých prípadoch z roku 2017 poukázať na možnosti detekcie nebezpečných konvektívnych javov s využitím rádiolokačných produktov na Odbore Meteorologických predpovedí a výstrah SHMÚ.

MATERIÁL A METÓDY

V článku sú spracované údaje z rádiolokačných meraní na území Slovenska získané v priebehu letnej sezóny v roku 2017. Vybrané boli rádiolokačné produkty využívané na Odbore Meteorologických predpovedí a výstrah SHMÚ.

Nasleduje ich stručná charakteristika podľa (Řezáčová a kol., 2007; Caletka, 2013; Selex ES, 2015):

- PPI („Plan Position Indicator“) – pole rádiolokačnej veličiny namerané pri jednom náklone (elevácii) antény.
- CAPPI („Constant Altitude Plan Position Indicator“) – pole rádiolokačnej veličiny v hladine konštantnej nadmorskej výšky získane interpoláciou zo susedných hladín PPI. V práci bol použitý produkt CAPPI 2 km z rádiolokačnej odrazivosti.
- VIL („Vertical Integrated Liquid“) – vertikálne integrovaný obsah vody v zadefinovanej vrstve atmosféry určený za predpokladu Marshall-Palmerovho rozdelenia. Hodnota VIL [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] sa stanoví pomocou nasledovných vzťahov:

$$Z = C \cdot M^D \quad M = \left(\frac{Z}{C} \right)^{\frac{1}{D}}, \quad (1)$$

$$VIL = \int_{h_z}^{h_t} M(h) \cdot dh \approx A, \quad (2)$$

kde Z je rádiolokačná odrazivosť [$\text{mm}^6\cdot\text{m}^{-3}$], koeficient $C = 24000$, koeficient $D = 1.82$, M je obsah tekutej vody [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], h_z je najnižšia hladina odkiaľ sa počíta obsah vody [m] a h_t je najvyššia hladina po ktorú sa počíta obsah vody [m], $A \approx$ približný obsah vody v zadefinovanej vrstve. Koeficient C a D sa určuje v závislosti od typu hydrometeorov (napr. oblačné kvapky, zrážkové kvapky).

- MPPI (V) („Multiple Plan Position Indicator - Radial Velocity Field“) – produkt pozostávajúci z polí PPI radiálnej rýchlosti zo všetkých dostupných elevácií. Dopplerovské rádiolokátory merajú okrem rádiolokačnej odrazivosti aj zmenu frekvencie navráteného signálu prostredníctvom merania jeho fázy. Zo zmeny frekvencie je podľa Dopplerovho javu možné určiť radiálnu rýchlosť odrážačov (prevažne atmosférické zrážky a nehomogenity indexu lomu v atmosfére).

Podmienkou merania dopplerovskej rýchlosti je výskyt radarových odrazov, predovšetkým v zrážkach a význačnej oblačnosti (Cumulonimbus, Nimbostratus). Z poľa radiálnych rýchlostí nameraných pri danej elevácii je možné detegovať horizontálny strih vetra a zisťovať príznaky rotácie a divergencie prúdenia.

- MPPI (ET) („Multiple Plan Position Indicator - Echo Type“) – produkt pozostávajúci z polí PPI typu rádiolokačných odrazov zo všetkých dostupných elevácií. Klasifikácia radarových odrazov prebieha v dvoch krokoch. V prvom kroku sa od seba odlišia meteorologické (napr. dažďové kvapky) a nemeteorologické ciele (napr. biologické ciele). V druhom kroku prebieha roztriedenie samotných hydrometeorov (sneh, dážď, krúpy). Pri klasifikácii je použitý algoritmus NEXRAD optimalizovaný pre letné obdobie, do ktorého vstupuje rádiolokačná odrazivosť a dualpolarizačné veličiny - korelačný koeficient a diferenciálna odrazivosť. Diferenciálna odrazivosť sa počíta pomocou vzorca:

$$Z_{DR} = 10 \log \frac{P_H}{P_V} = Z_H - Z_V, \quad (3)$$

kde P_H je výkon prijatý prijímačom v horizontálnom smere, P_V je výkon prijatý prijímačom vo vertikálnom smere, Z_H je odrazivosť v horizontálnom smere, Z_V je odrazivosť vo vertikálnom smere.

- VVP („Volume Velocity Processing“) – vertikálny profil vetra. Dopplerovské rádiolokátory umožňujú merať radiálnu zložku prúdenia, do ktorej sa premietajú horizontálne aj vertikálne zložky prúdenia. Vertikálny profil získame na základe výpočtov na danej elevácii v rôznych vzdialenostiach od radaru (v rôznych nadmorských výškach). Metóda je označovaná ako VAD (Velocity-Azimuth Display). Komplexnejšou metódou pre analýzu poľa vetra je metóda VVP (Volume Velocity Processing), ktorá využíva merania na viacerých eleváciách, vďaka čomu je možné vypočítať vertikálne gradienty parametrov poľa vetra. Analýzu poľa vetra prostredníctvom druhej menovanej metódy sme využili aj v predkladanom príspevku (Obr. 21).

ANALÝZA KONVEKTÍVNYCH JAVOV

Základnou štruktúrnou jednotkou konvektívnych útvarov je tzv. konvektívna bunka (*covective cell*) (Byers a Braham, 1949). Obyčajná konvektívna bunka je určená jedným výstupným (*updraft*) a následným kompenzačným zostupným prúdom vzduchu, ktorý súvisí s vypadávaním zrážok (*downdraft*). Vyvíja sa ako trojrozmerná cirkulácia vzduchu, ktorá umožňuje transport vlastností prostredia zo spodných troposférických hladín do hornej troposféry a spodnej stratosféry (Řezáčová a kol., 2007). V praxi si takýto príklad konvektívneho útvaru môžeme predstaviť ako prehánku (alebo búrku), ktorá sa typicky vyvíja vnútri vzduchovej hmoty vplyvom denného chodu teploty vzduchu v podmienkach slabého vertikálneho strihu vetra.

Vertikálny strih vetra je vektor definovaný ako rozdiel medzi vetrom v dvoch hladinách (v konvektívnej meteorológii je najčastejšie sledovaný strih vetra medzi prízemnou vrstvou (0 až 500 m) a hladinou 6 km (Thompson a kol., 2003; Šinger, 2013). Hodnoty vertikálneho strihu vetra nižšie ako 10 m.s^{-1} sú zvyčajne považované za slabý strih vetra, hodnoty od 10 do 20 m.s^{-1} sú považované za mierny a hodnoty nad 20 m.s^{-1} za silný vertikálny strih vetra (Markowski a Richardson, 2010).

Obyčajná konvektívna bunka je zároveň základnou štrukturálnou jednotkou viacbunkového (multicelárneho) konvektívneho útvaru. Ten pozostáva z viacerých obyčajných konvektívnych buniek, ktoré sa nachádzajú v rôznom štádiu vývoja a môžu sa navzájom ovplyvňovať. Základným mechanizmom, ktorý vyvolá vznik nových konvektívnych buniek v multicelárnom systéme je výstup teplého a vlhkého vzduchu pred chladným vzduchom vytekajúcim z konvektívnych buniek, ktoré sú v pokročilejšom štádiu svojho vývoja (štádium zrelosti) (Řezáčová a kol., 2007).

Multicelárne systémy sa môžu rozvinúť až do konvektívnych útvarov s horizontálnym rozmerom rádovo 100 km (tzv. mezoškálové konvektívne systémy – ďalej MCS) a spolu so supercelami sú nositeľmi nebezpečných javov, ktoré sa v porovnaní s obyčajnými konvektívnymi bunkami prejavujú väčším rozsahom (najmä v prípade MCS), trvaním a zvyčajne aj intenzitou (Řezáčová a kol., 2007).

Stavbou a vývojom konvektívnych štruktúr v závislosti od vertikálneho strihu vetra a vztlakovej sile (CAPE) sa podrobne zaoberali viacerí autori (Weisman a Klemp, 1982; Rotunno a kol., 1988).

Vertikálny strih vetra má významný vplyv na vývoj konvektívneho oblaku (Doswell, 1991). Interakcia konvektívnej štruktúry s okolitým prúdením ovplyvňuje jeho ďalší vývoj, revitalizáciu a aj dĺžku existencie downburstu (Weisman a Klemp, 1982; pozri tiež Markowski a Richardson, 2010). Vplyvom výrazného vertikálneho strihu vetra dochádza k náklonu konvektívnej bunky. To umožňuje separovanie výstupného a zostupného prúdu oblaku, čo vedie k dlhšej dobe života celého konvektívneho útvaru. Je preto kľúčový aj pre vznik superciel (Browning, 1964; Klemp, 1987; pozri tiež Šinger, 2013).

V ďalšej časti článku sa budeme venovať vysvetleniu pojmov supercela a mezoškálový konvektívny systém. Popíšeme črty na poli rádiolokačnej odrazivosti (napr. bow echo) a poli dopplerovskej rýchlosti prostredníctvom ktorých ich môžeme identifikovať. Zameriame sa aj na niektoré nebezpečné javy s nimi spojené prejavujúce sa na alebo blízko zemského povrchu (downburst).

Supercela

V roku 1964 predložil Browning konceptuálny model, ktorý vysvetľoval štruktúru nebezpečných búrok šíriacich sa doprava od smeru prevládajúceho prúdenia (Řezáčová a kol., 2007). Tieto búrky označil termínom supercela (Browning, 1964).

Supercela vzniká v oblasti s instabilitou vzduchovej hmoty a výrazným vertikálnym strihom vetra (Brooks, 2009). Je definovaná ako konvektívna bunka tvorená silným rotujúcim výstupným prúdom (angl. *updraft*), ktorý sa na snímkach z dopplerovského rádiolokátora javí ako tzv.

mezocyklóna. Mezocyklóna je oblasť rotujúceho *updraftu* s horizontálnym rozmerom 2 až 10 km (Moller a kol., 1994) a vertikálnym rozmerom 3 až 8 km (Brooks a kol., 1994), ktorý rotuje okolo zvislej osi zvyčajne v rovnakom smere ako cyklóny na danej pologuli. Prítomnosť mezocyklóny je hlavným a objektívnym kritériom definície supercely (Klemp, 1987). Okrem cyklónálne rotujúcich superciel sodklonom doprava (tzv. *right mover*) boli zaznamenané aj prípady s anticyklónálne rotujúcimi supercelami s odklonom vľavo (tzv. *left mover*) od prevládajúceho prúdenia (Řezáčová a kol., 2007). Podľa štúdií vykonaných na území USA výrazne dominujú supercely s cyklónálnou rotáciou (Kessler, 1986). Typickou vlastnosťou supercely je štiepenie materskej bunky na dve sekundárne, postupne sa od seba vzdalujúce bunky, ktorých *updrafty* majú opačnú rotáciu (Klemp, 1987; Řezáčová a kol., 2007). Životnosť supercely dosahuje niekoľko hodín (ojedinele aj viac ako 10) (Řezáčová a kol., 2007).

V súčasnosti poznáme tri základné typy superciel (Low Precipitation, Heavy Precipitation, Classic Supercell), ktoré sú identifikované podľa množstva zrážok v ich tylovej časti (RFD región). Hranice medzi nimi nie sú diskrétné, čo znamená že z pôvodne LP supercely sa môže neskôr vyvinúť CL a nakoniec až HP forma (Bluestein a Woodall, 1990). Na obrázku 1 je schematicky znázornený horizontálny (v hornej časti obrázka) a vertikálny rez (v dolnej časti obrázka) tzv. klasickou supercelou. Biela šípka v hornej časti obrázka predstavuje smer, ktorým sa supercela presúva. Skratkou FFD (*forward-flank downdraft*) je označený región vznikajúci zvyčajne na severovýchod od mezocyklóny supercely (v jej prednej časti), v ktorom sú pozorované silné zrážky, aj s krúpami. Skratka RFD (*rear-flank downdraft*) označuje región, v ktorom sa zvyčajne vyskytujú veľmi slabé alebo žiadne zrážky (Lemon a Doswell, 1979). Červené šípky v dolnej časti obrázka znázorňujú oblasť s výstupným prúdom vzduchu (*updraft*), naopak modré šípky predstavujú oblasť zostupných prúdiv vzduchu (*downdraft*). Na pomenovanie časti supercely, ktorú sme nazvali „chvost“ búrky, sa v zahraničnej odbornej literatúre používa termín *flanking line*. Ide o líniu nových konvektívnych buniek, vznikajúcich dôsledkom konvergentného prúdenia vzduchu, na čele gust frontu z RFD, väčšinou juhozápadne od najaktívnejšej časti supercely (Fujita, 1960; Markowski a Richardson, 2010; Šinger, 2013).

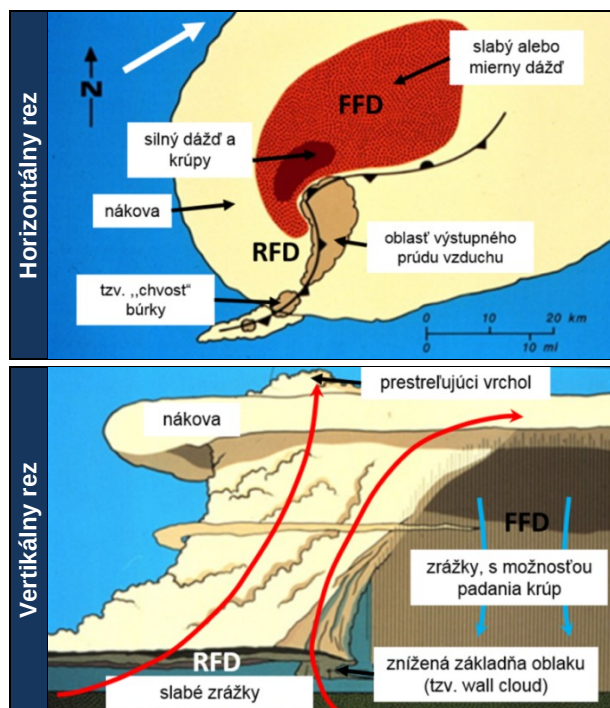
V oblasti výstupného prúdu vzduchu dochádza v spodných hladinách k intenzívnemu vtoku vzduchu do supercelárnej bunky. Unášaním väčších zrážkových častíc, ktoré detegujeme pomocou rádiolokátora, do vyšších hladín vzniká na poli rádiolokačnej odrazivosti v nižších hladinách (do výšky zhruba 5 km) oblasť s jej nízkymi hodnotami, tzv. *weak echo region*. V súvislosti so supercelou môžeme prostredníctvom rádiolokátorov identifikovať aj ďalšie črty (Lemon, 1980):

- weak echo region (ďalej WER): spomínaná oblasť slabej rádiolokačnej odrazivosti,
- bounded weak echo region (ďalej BWER): ohraničená oblasť slabej rádiolokačnej odrazivosti dobre identifikovateľná najmä na vertikálnom reze poľom rádiolokačnej odrazivosti,

- hook echo (ďalej hákovité echo): nízko hladinová črta supercely na poli rádiolokačnej odrazivosti (Burgess a Lemon, 1990),
- V-notch (ďalej V-tvar): O „V-tvare“ na poli rádiolokačnej odrazivosti hovoríme, ak sa hydrometeoricky usporiadajú do tvaru písmena V (Šinger, 2013).

Obrázok 1. Horizontálna (hore) a vertikálna (dolu) štruktúra tzv. klasickej supercely (upravené podľa Doswell a Burges, 1993).

Figure 1. Horizontal (up) and vertical (down) structure of classic supercell (edited by Doswell and Burges, 1993).



So supercelou je typicky spojených niekoľko nebezpečných poveternostných javov. Okrem toho, že môžu produkovať extrémne vysoký počet bleskov, s frekvenciou aj viac ako 200 výbojov za minútu (Markovski a Richardson, 2010), je pri nich často pozorovaný aj výskyt veľkých krúp (Bunkers a kol. 2006). Takmer všetky zaznamenané prípady búrok s výskytom krúp s priemerom 5 cm a viac sú spojené so supercelami (Markowski a Richardson, 2010; pozri tiež Hasa, 2012; Heuscher, 2016).

S označením supercely sú niekedy chybné spájané búrky s tými najextrémnejšími prejavmi počasia. Najmä vradoch laickej verejnosti tak niekedy vzniká mylný dojem, že supercela je určitý druh „super búrky“. Tento názor je však nesprávny, pretože z hľadiska množstva zrážok, nárazov vetra a dĺžky trvania sa napríklad multicelárne systémy môžu prejavovať rovnako intenzívne (Řezáčová a kol., 2007).

Supercela na východe Slovenska dňa 23.6.2017

V spomínaný deň postupoval cez Slovensko ďalej na východ studený front. Pred ním bolo na východe územia v prízemnej vrstve ovzdušia ešte juhovýchodné až južné prúdenie, vo vyšších vrstvách troposféry bolo prúdenie západné až severozápadné a vietor s narastajúcou výškou zosilňoval. Pri

analýze zmeny smeru a rýchlosti vetra s výškou (vertikálny strih vetra) nebolo pre oblasť Zemplína aerologické meranie z Gánoviec pri Poprade dostatočne reprezentatívne (Obr. 2). Z meraní zo synoptických staníc na východe Slovenska je vidieť, že v oblasti, kde sa supercela vyskytla musel byť strih vetra ešte výraznejší, keďže tu fúkali juhovýchodné až južné smery vetra, kým v Poprade bol vietor aj v spodných hladinách západného smeru (Obr. 3).

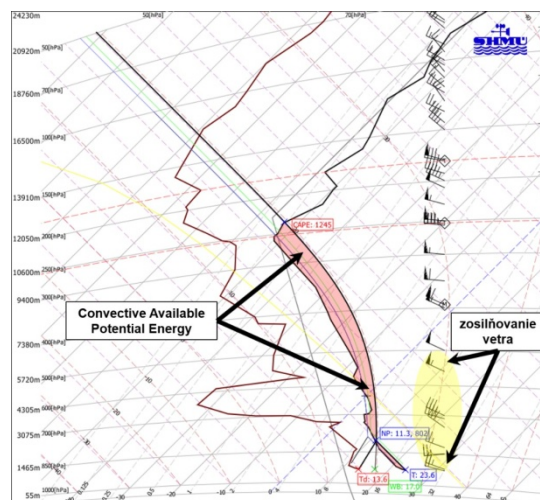
Supercela bola identifikovaná nielen na poli rádiolokačnej odrazivosti (Obr. 4 a 5), ale aj na poli dopplerovskej rýchlosti (Obr. 6 a 7). Prostredníctvom produktu CAPPI 2 km sme identifikovali radarové črty typické pre supercelu. Menovite išlo o WER, BWER, hákovité echo, V – tvar, FFD a RFD región (Obr. 4 a 5). Na obrázku 5 (vpravo) si môžeme všimnúť aj výrazný náklon konvekčívnej bunky, ku ktorému dochádza vplyvom výrazného vertikálneho strihu vetra, ale tiež tzv. *overhang* – previs nahromadených hydrometeorov (oblasť vysokej rádiolokačnej odrazivosti).

Na jednoznačné potvrdenie supercely je potrebné na poli dopplerovskej rýchlosti identifikovať mezocyklónu. Na obrázku 6 (vpravo) (detailný pohľad na Obr. 7) si môžeme všimnúť, že na prednej strane sledovaného objektu (v čiernom kruhu) sa častice pohybovali smerom od radaru (červená farba) a na zadnej strane smerom k radaru (modrá farba), čo indikuje cyklónálnu rotáciu a objekt už definujeme ako supercelu (Donaldson, 1970). Typickým znakom supercely je tiež jej štiepenie. Na obrázku 8 je zachytený práve tento proces, pričom výsledkom je bunka s odklonom vľavo (A) a vpravo (B) od prevládajúceho prúdenia.

V súvislosti s prechodom supercely sme prostredníctvom našich staníc zaznamenali vysokú intenzitu zrážok. Napríklad na stanici Hanušovce nad Topľou spadlo za 10 minút až 33 mm zrážok (Obr. 9). Vysoký obsah vody vo vzduchovom stĺpci sme v danej lokalite, krátko pred tým ako sme namerali spomínaný úhrn zrážok, identifikovali prostredníctvom rádiolokačného produktu VIL (Vertical Integrated Liquid). Len o niekoľko minút neskôr sme pozorovali pokles hodnot obsahu vody v oblaku (Obr. 10).

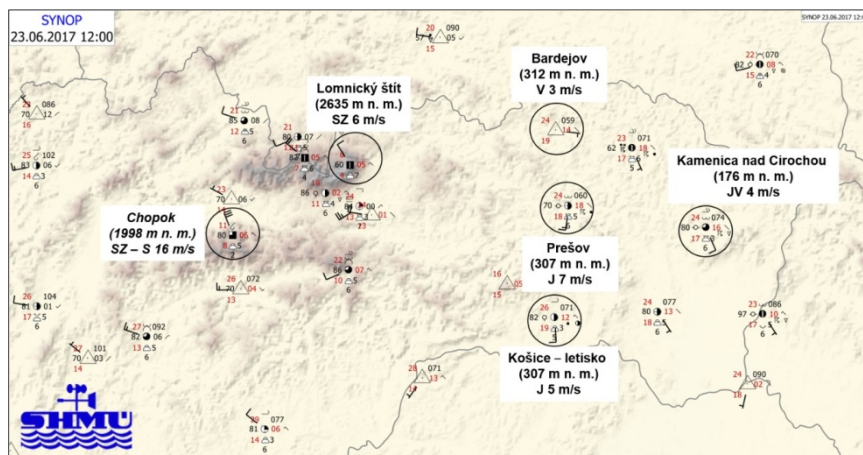
Obrázok 2. Aerologický diagram (Tephigram) z Gánoviec pri Poprade zo dňa 23.6.2017 o 12:00 UTC.

Figure 2. Aerological diagram (Tephigram) from Gánovce pri Poprade station on 23.6.2017 at 12:00 UTC.



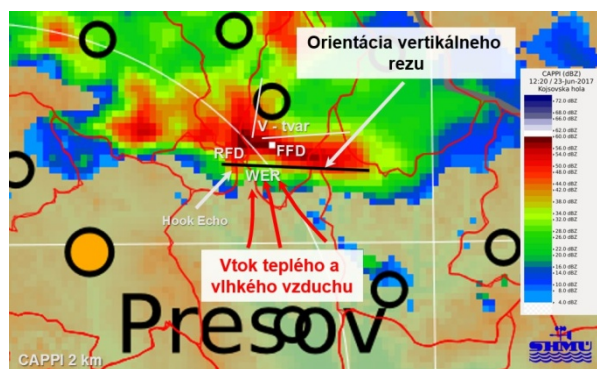
Obrázok 3.
Údaje o počasí na
jednotlivých synoptických
staniciach 23.6.2017
o 12:00 UTC.

Figure 3.
Weather data in single
synoptic stations on
23.6.2017 at 12:00 UTC.



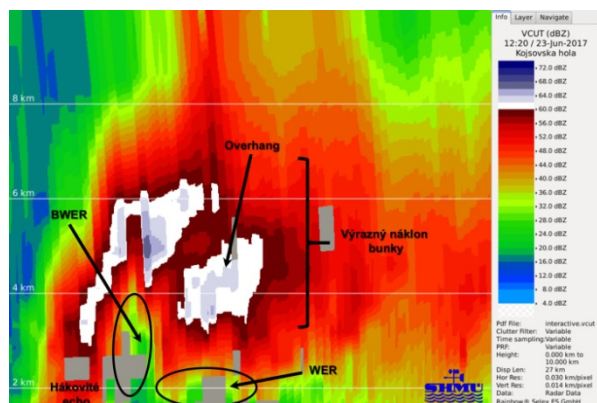
Obrázok 4. Radarové črty na poli rádiolokačnej odrazivosti typické pre supercelu identifikované na východe Slovenska dňa 23.6.2017 [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km)].

Figure 4. Radar features on radar reflectivity imagery typical for supercell identified in the east of Slovakia on 23.6.2017 [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km)].



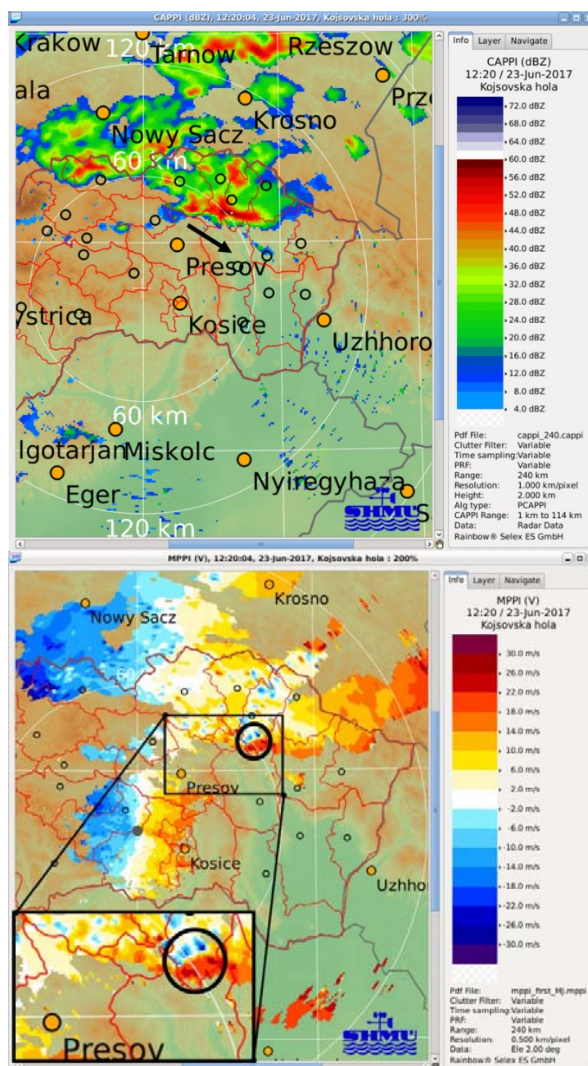
Obrázok 5. Radarové črty na poli rádiolokačnej odrazivosti typické pre supercelu identifikované na východe Slovenska dňa 23.6.2017. Vertikálny rez poľom rádiolokačnej odrazivosti [radar Kojšovská hoľa, (CAPPI 2 km)].

Figure 5. Radar features on radar reflectivity imagery typical for supercell identified in the east of Slovakia on 23.6.2017. Vertical cross-section of radar reflectivity field [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km)].



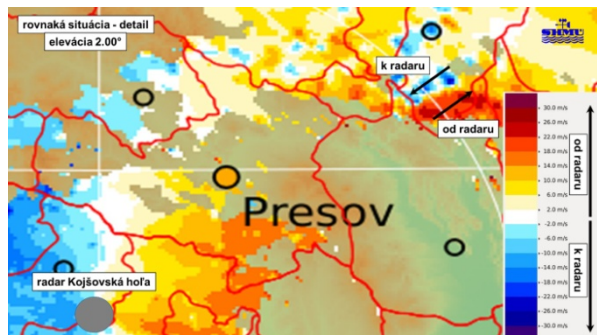
Obrázok 6. Radarové črty na poli rádiolokačnej odrazivosti (hore) a dopplerovskej rýchlosti (dolu) súvisiace so supercelou identifikovanou na východe Slovenska dňa 23.6.2017. Čierna šípka na obrázku hore naznačuje smer postupu konvektívnej bunky [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km; MPPI (V) – elevácia 2.00°)].

Figure 6. Radar features on radar reflectivity (up) and Doppler velocity field (down) connected with supercell identified in the east of Slovakia on 23.6.2017. Black arrow on the upper picture indicates direction of convection cell movement [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km; MPPI (V) – elevation 2.00°)].



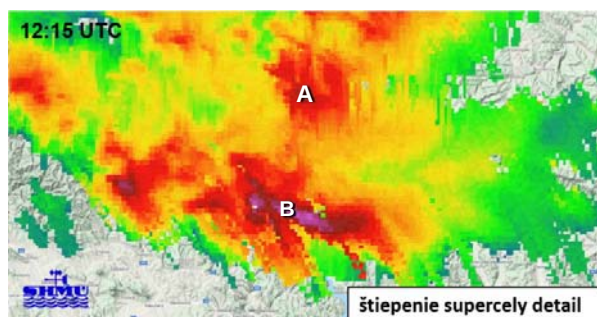
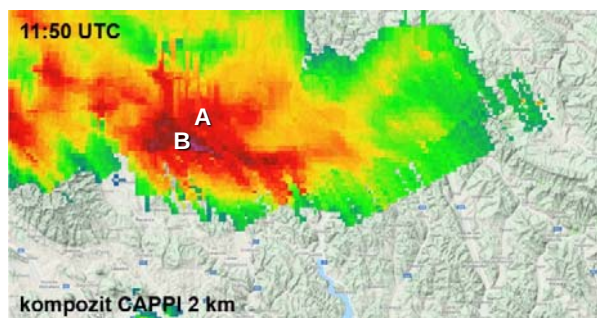
Obrázok 7. Črty na poli dopplerovskej rýchlosti (detail) súvisiace so supercelou identifikované na východe Slovenska dňa 23.6.2017 [radar Kojšovská hoľa (MPPI (V) – elevácia 2.00°)].

Figure 7. Doppler velocity features (detail) related to supercell identified in the east of Slovakia on 23.6.2017 [radar Kojšovská hoľa (MPPI (V) – elevation 2.00°)].



Obrázok 8. Detailný pohľad na štiepenie supercely dňa 23.6.2017 na východe Slovenska. Konkvektívna bunka s odklonom vľavo od prevládajúceho prúdenia (left mover) je na obrázku označená písmenom A, bunka s odklonom vpravo (right mover) písmenom B [kompozit CAPPI 2 km].

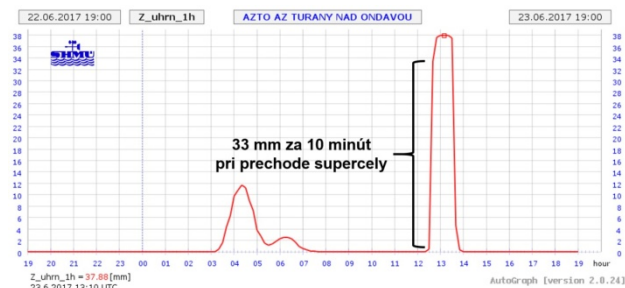
Figure 8. Detailed view on supercell splitting on 23.6.2017 in the east of Slovakia. Convective cell with diversion to the left from predominant flow (left mover), marked with letter A, cell with diversion to the right (right mover) marked with letter B [composite CAPPI 2 km].



Okrem intenzívneho dažďa sa v lokalitách cez ktoré supercela postupovala vyskytlo aj krupobitie. Prítomnosť krúp v oblaku sme identifikovali prostredníctvom produktu Echo Type (Obr. 11). O nebezpečných prejavoch počasia, ktoré súviseli s prechodom supercely, sme dostali aj hlásenia od obyvateľov dotknutých oblastí, niektorí nám poslali aj fotografie (Obr. 12 a 13).

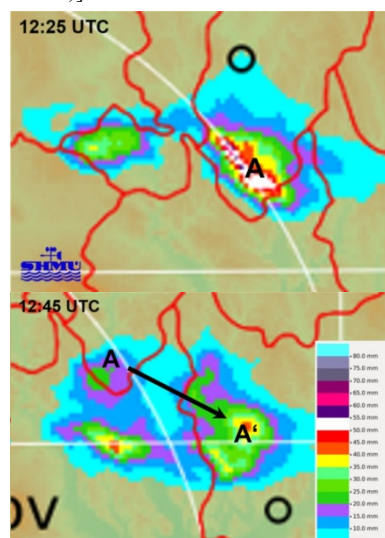
Obrázok 9. Úhrn zrážok dňa 23.6.2017, grafický výstup zo zrážkomernej automatickej stanice SHMÚ Turany nad Ondavou.

Figure 9. Total rainfall on 23.6.2017, graphical output from the rain gauge automatic station SHMÚ Turany nad Ondavou.



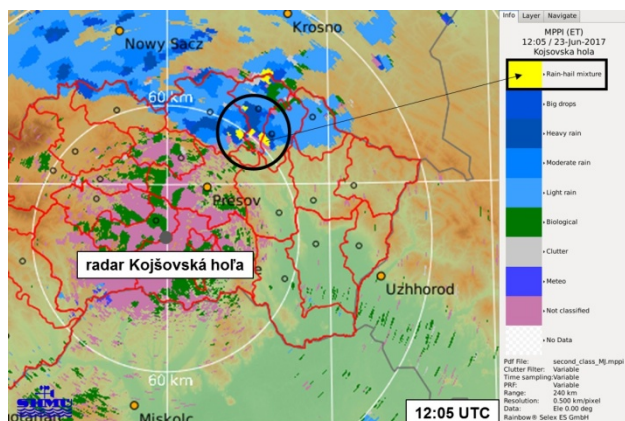
Obrázok 10. Detailný pohľad na obsah vody v oblaku identifikovaný prostredníctvom produktu Vertical integrated liquid [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km; VIL)].

Figure 10. Detailed view on water content in the cloud identified by Vertical integrated liquid product [radar Kojšovská hoľa (CAPPI 2 km; VIL)].



Obrázok 11. Supercela na východe Slovenska dňa 23.6.2017 o 12:05 UTC. Produkt typ zrážok [radar Kojšovská hoľa (MPPI(ET) elevácia 0.00°)].

Figure 11. Supercell in the east of Slovakia on 23.6.2017 at 12:05 UTC. Product precipitation type [radar Kojšovská hoľa (MPPI(ET) elevation 0.00°)].



Obrázok 12. Nebezpečné prejavy počasia spojené s prechodom supercely – intenzívne zrážky a vietor zachytené v Bardejove dňa 23.6.2017 (zdroj: fb profil ONline Bardejov, autor fotografie vľavo: Zdeno Jurčák, vpravo: Peter Michalov).

Figure 12. Dangerous weather patterns connected with passage of supercell – intensive precipitation and wind observed in Bardejov on 23.6.2017 (source: fb profile ONline Bardejov, author of photography on the left: Zdeno Jurčák, on the right: Peter Michalov).



Obrázok 13. Supercela na východe Slovenska dňa 23.6.2017 odfočená z obce Čížatice o 13:40 UTC (fotografiu vľavo poslal Pavol Gombos). Hlásenie o krúpach z obce Davidov okres Vranov nad Topľou (fotografiu vpravo poslal Štefan Bačík).

Figure 13. Supercell in the east of Slovakia on 23.6.2017 picture taken from Čížatice village at 13:40 UTC (on the left, author Pavol Gombos). Hail report from Davidov village, district Vranov nad Topľou (on the right, author Štefan Bačík).



Mezoškálový konvektívny systém

Mezoškálové konvektívne systémy (ďalej MCS) sú tvorené sústavou viacerých konvektívnych buniek, ktoré spolu vytvárajú aspoň v jednom smere súvislú zrážkovú oblasť s rozmerom 100 a viac kilometrov (Řezáčová a kol., 2007; Houze, 1993).

V počiatočnom štádiu vývoja MCS väčšinou môžeme dobre rozoznať jednotlivé konvektívne bunky, ktoré sa vyvíjajú individuálne a zväčšujú svoj rozmer až do štádia zrelosti. Neskôr dochádza k interakcii cirkulácie medzi jednotlivými bunkami čo vedie k tvorbe multicelárneho (viacbunkového) systému. Ten môže v ďalšom vývoji nadobudnúť až charakteristiky typické pre MCS (horizontálne rozmery, dĺžka života, teplota hornej hranice oblačnosti a i.). Konvektívne bunky v nich môžu mať rôzne priestorové usporiadanie, vytvárajú zhľuky (tzv. *clustre*), časté sú aj lineárne usporiadané štruktúry tzv. *squall lines*¹ (ďalej SQL). SQL sú najvýraznejšie štruktúry MCS formované z viacerých samostatných konvektívnych buniek, ktoré

majú na poli rádiolokačnej odrazivosti viac menej čiarový charakter. Dlho žijúce a rýchlo sa pohybujúce SQL často produkujú škody spôsobené vetrom na veľkej ploche, príležitostne sa v súvislosti s nimi môže vytvoriť aj tornádo (Przybylinski, 1995). V našich zemepisných šírkach sa SQL najčastejšie formujú na studených frontoch a čiarach instability pri silnejšom výškovom prúdení (Matiašová, 2010).

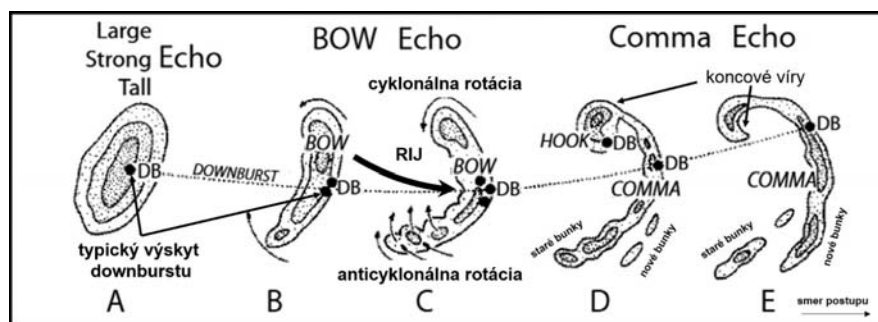
MCS sa vyskytujú v tropických oblastiach, ale aj v miernom klimatickom pásme (Řezáčová a kol., 2007). Môžu byť aktívne aj niekoľko hodín, pričom ich dĺžka života závisí od schopnosti regenerácie konvektívnych buniek. MCS niekedy môžu prerásť až na mezoškálové konvektívne komplexy (ďalej MCC), ktoré na základe družicových pozorovaní zadefinoval Maddox (1980). MCC sú špeciálnou formou MCS, ich stredná dĺžka života je okolo 15 hodín, pričom v niektorých prípadoch môžu existovať aj niekoľko dní (Řezáčová a kol., 2007).

V štádiu rozpadu MCS sa nové konvektívne bunky neformujú a v systéme prevažuje počet zanikajúcich konvektívnych buniek nad počtom buniek v štádiu zrelosti. Systém je nakoniec tvorený zväčša stratiformnými zrážkami s vrstevnatou oblačnosťou, ktorá pochádza zo zanikajúcich konvektívnych buniek (Řezáčová a kol., 2007).

¹ Pre lineárne usporiadanie konvektívnych buniek v MCS (tzv. *squall lines*) sa používa slovenský ekvivalent čiara hľáv.

Obrázok 14.
Typický vzhľad (morfológia)
radarových odrazivostí spojených
s bow echom, ktoré produkujú
silné a rozsiahle downbursty
(upravené podľa Fujita, 1978).

Figure 14.
 A typical appearance (morphology)
 of radar echoes associated with
 bow echoes that produce strong
 and extensive downbursts
 (edited by Fujita, 1978).



Bow Echo

Pojem *bow echo*² sa používa na pomenovanie črty na poli rádiolokačnej odrazivosti, ktorú možno charakterizovať ako úzky pás vysokých hodnôt radarovej odrazivosti, niekedy aj viac ako 100 km dlhý, prehnutý do oblúkového tvaru v smere postupu konvektívneho útvaru (Fujita, 1978).

Prvá správa o pozorovaní oblúkovej konvektívnej štruktúry vyskytujúcej sa v rámci SQL bola prezentovaná Nolenom v roku 1959. Ten ju po anglicky nazval *line echo wave pattern* (Nolen, 1959). Išlo o líniovú vlnitú štruktúru, v ktorej jedna časť sa pohybovala rýchlejšie ako susediaca časť. Termín *bow echo* však zaviedol až Fujita (1978), ktorý zistil, že výskyt downburstov súvisí s usporiadaním konvektívnych útvarov do tvaru oblúka. Navrhol kinematiku a konceptuálny model jeho vývoja (Obr. 14).

Bow echo sa môže generovať zo samostatnej mohutnej konvektívnej bunky, deformáciou SQL alebo z HP supercely (Moller a kol., 1994). Od toho závisia aj rozmery bow echa, ktoré sa pohybujú rádovo od desiatok do stoviek km. Deformácia útvaru do oblúka je príznakom silných downburstov a následne silnej húlavy na čele systému. Vzniká interakciou vertikálneho strihu vetra v prostredí s vertikálnymi pohybmi vzduchu v blízkosti čela konvektívnej línie čiarových MSC. Vývoj vírov na koncoch konvektívnej línie systému v silnom strihovom prostredí je spôsobený ohýbaním západného strihu vetra v bunkách na koncoch bow echa, kde dochádza ku generovaniu vorticity. Na južne orientovanej strane oblúka vzniká anticyklonálna vorticitá a na severnej strane cyklonálna vorticitá. Cyklonálna vorticitá je u rozsiahlejších oblúkových štruktúr (napr. bow echo) podporovaná ešte Coriolisovou silou (Fujita, 1978; Weisman, 1993; Markowski a Richardson, 2010).

Dôležitou črtou bow echa je oblasť zoslabených rádiolokačných odrazivostí (tzv. *rear inflow notch*), ktorá je spôsobená vtokom zostupného studeného a suchého vzduchu do zadnej časti konvektívneho útvaru (v zahraničnej odbornej literatúre sa označuje termínom *rear inflow jet*). Suchý a studený vzduch podporuje výpar zrážok čo vedie k zníženiu hodnôt rádiolokačnej odrazivosti na rádiolokačných snímkach a dochádza tu tiež k najčastejšej tvorbe downburstov (Obr. 14). Výskyt bow echa je preto typicky sprevádzaný silným vetrom. *Rear inflow jet* (na obrázku 14 schematicky znázornený čiernou hrubou šípkou

smerujúcou do zadnej časti systému v časti obrázku označenej písmenom C a skratkou RIJ) zostupuje zo stredných hladín systému smerom k zemskému povrchu a po jeho dosiahnutí sa rozteká do strán a šíri sa k prednému okraju výtoku studeného vzduchu. Prítomnosť *rear inflow jet* v systéme môže pozitívne vplyvať na dĺžku života bow echa a môže ho udržať aktívnym aj niekoľko hodín. Okrem štruktúry *rear inflow notch* a *rear inflow jet* je pre bow echo typická aj tvorba koncových vírov (tzv. *bookend vortices*), ktoré vznikajú na koncoch konvektívnej línie systému, s výraznou podporou horizontálneho strihu, ktorý je generovaný v okolí *rear inflow jet* (Weisman, 1993).

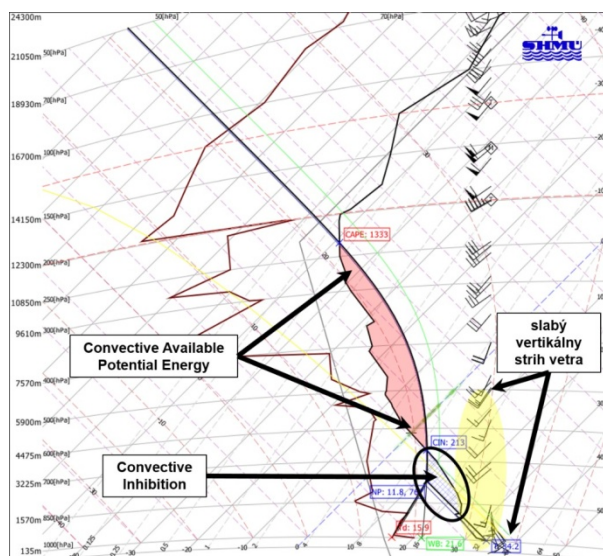
Bow echo nad západným Slovenskom dňa 10.8.2017

Dňa 10.8.2017 sa nad strednou Európou vlnil studený front. Podľa aerologického merania z Budapešti (Obr. 15) sa južne od nášho územia nachádzala v popoludňajších hodinách pomerne vysoká hodnota dostupnej energie instability (CAPE), ale výrazná bola tiež tzv. zádržná vrstva (convective inhibition, skratka CIN). Kvôli vysokej CIN sa počas dňa CAPE neuvoľňovala, pretože impulz na spustenie konvekcie nebol dostatočný. CAPE sa uvoľnila až večer pri príchode konvektívneho systému od juhu až juhozápadu. Okrem vysokej CIN sa v oblasti nachádzal len slabý strih vetra, ktorý by na vývoj multicelárneho systému pravdepodobne nestačil. Oveľa lepšie podmienky na vznik mezoškálového konvektívneho systému boli v priebehu tohto dňa nad Slovenskom a severným Talianskom. Na aerologickom meraní zo stanice Rivolto v severovýchodnom Taliansku (Obr. 16) je vidieť veľmi vysokú hodnotu CAPE, ale tiež priaznivý, najmä rýchlostný strih (zosilňovanie vetra s výškou) vetra. Práve v týchto oblastiach vznikali v súvislosti so spomínaným studeným frontom už v priebehu dňa rozsiahle búrkové systémy, ktoré boli jasne identifikovateľné aj na snímkach z družice. Jeden z nich priniesol ešte v denných hodinách silný vietor do severného Talianska. MCS nad severným Talianskom sa pri svojom postupe ďalej na severovýchod rozpadával a inicioval vznik ďalšieho konvektívneho systému nad Slovenskom. Konvektívny systém, ktorý vznikol nad Slovenskom, postupoval ďalej na severovýchod a v podvečerných hodinách zasiahol východné Rakúsko a severozápadné Maďarsko. Synoptické stanice na rakúsko-maďarskom pohraničí hlásili v neskorých večerných hodinách prudký až búrlivý vietor (Obr. 17), pričom rýchlosť vetra bola v nárazoch viac ako 100 km.h⁻¹.

² Na Slovensku sa používa ekvivalent oblúkové echo, podľa tvaru oblúka na poli rádiolokačnej odrazivosti.

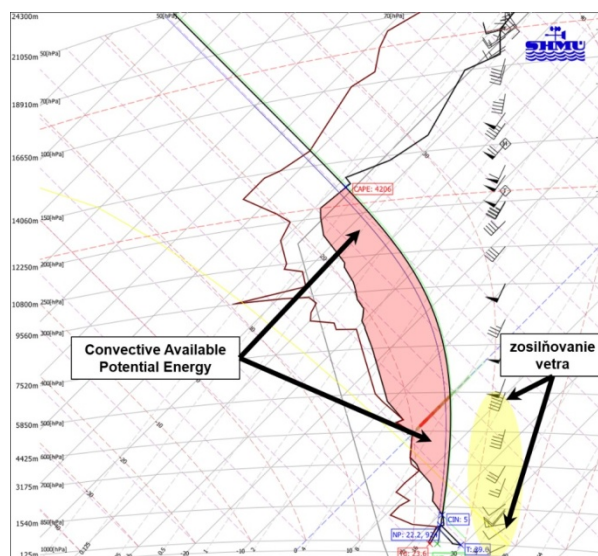
Obrázok 15 Aerologický diagram (Tephigram) z Budepešti zo dňa 10.8.2017 o 12:00 UTC.

Figure 15. Aerological diagram (Tephigram) from Budapest station on 10.8.2017 at 12:00 UTC.



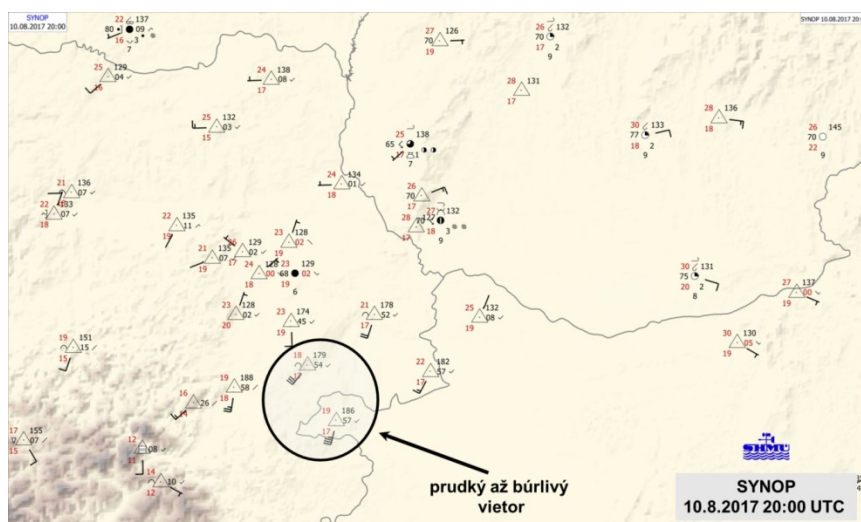
Obrázok 16. Aerologický diagram (Tephigram) z Rivolta zo dňa 10.8.2017 o 12:00 UTC.

Figure 16. Aerological diagram (Tephigram) from Rivolta station on 10.8.2017 at 12:00 UTC.



Obrázok 17. Údaje o počasi na jednotlivých synoptických staniách v oblasti slovensko-rakúsko-maďarských hraníc dňa 10.8.2017 o 20:00 UTC.

Figure 17. Weather data in single synoptic stations in the area of the Slovak-Austrian-Hungarian border on 10.8.2017 at 20:00 UTC.



V neskorých večerných hodinách postúpil lineárny konvektívny systém s radarovou štruktúrou bow echo nad juhozápadné Slovensko. Počas svojho postupu ďalej na sever až severovýchod cez územie západného Slovenska a Moravy nebolo na poli rádiolokačnej odrazivosti zreteľné, že by výrazne zoslabol (Obr. 18). Na poli rádiolokačnej odrazivosti sme identifikovali črty typické pre bow echo (Obr. 19). Ako už aj z názvu štruktúry vyplýva, typický je najmä tvar usporiadania vysokých hodnôt rádiolokačnej odrazivosti, ktoré pripomínajú napnutý luk alebo oblúk. Ďalej si všimnime tzv. *rear inflow notch* vznikajúci dôsledkom *rear inflow jet* (na obrázku 19 znázomený hrubou čiernou šípkou), ale tiež náznak tvorby koncových vírov, tzv. book-end vortices, vznikajúcich na okraji oblúka vyšších hodnôt rádiolokačnej odrazivosti. Silné prúdenie sme v čase, keď už systém postupoval cez juhozápad Slovenska identifikovali aj na poli dopplerovskej rýchlosti. Radiálna rýchlosť častíc

pohybujúcich sa k radaru (biela šípka) a od radaru (šedá šípka) dosiahla ojedinele 100 km.h^{-1} (Obr. 20). S využitím produktu vertikálny profil vetra sme vietor s rýchlosťou viac ako 100 km.h^{-1} identifikovali ešte aj vo výške 1,5 km nad zemským povrchom. Rýchlosť vetra približne 90 km.h^{-1} sa v mieste nad radarom na Malom Javorníku vyskytovala až do výšky zhruba 3,5 km nad povrchom (Obr. 21).

Z meraní z pozemných staníc bola podľa Beaufortovej stupnice sily vetra na Malom Javorníku zaznamenaná silná víchrica. Na danej stanici priemerná rýchlosť vetra počas 2 minút bola na úrovni $24,5 \text{ m.s}^{-1}$ ($88,2 \text{ km.h}^{-1}$). Maximálny náraz vetra s hodnotou 36 m.s^{-1} ($129,6 \text{ km.h}^{-1}$) tu bol zaznamenaný o 20:11 a 20:12 UTC (Obr. 22, hore). Na stanici Bratislava-letisko bola zaznamenaná víchrica, priemerná rýchlosť vetra počas 2 minút bola na úrovni $23,5 \text{ m.s}^{-1}$ ($84,6 \text{ km.h}^{-1}$), maximálny náraz mal hodnotu $27,9 \text{ m.s}^{-1}$ ($100,4 \text{ km.h}^{-1}$).

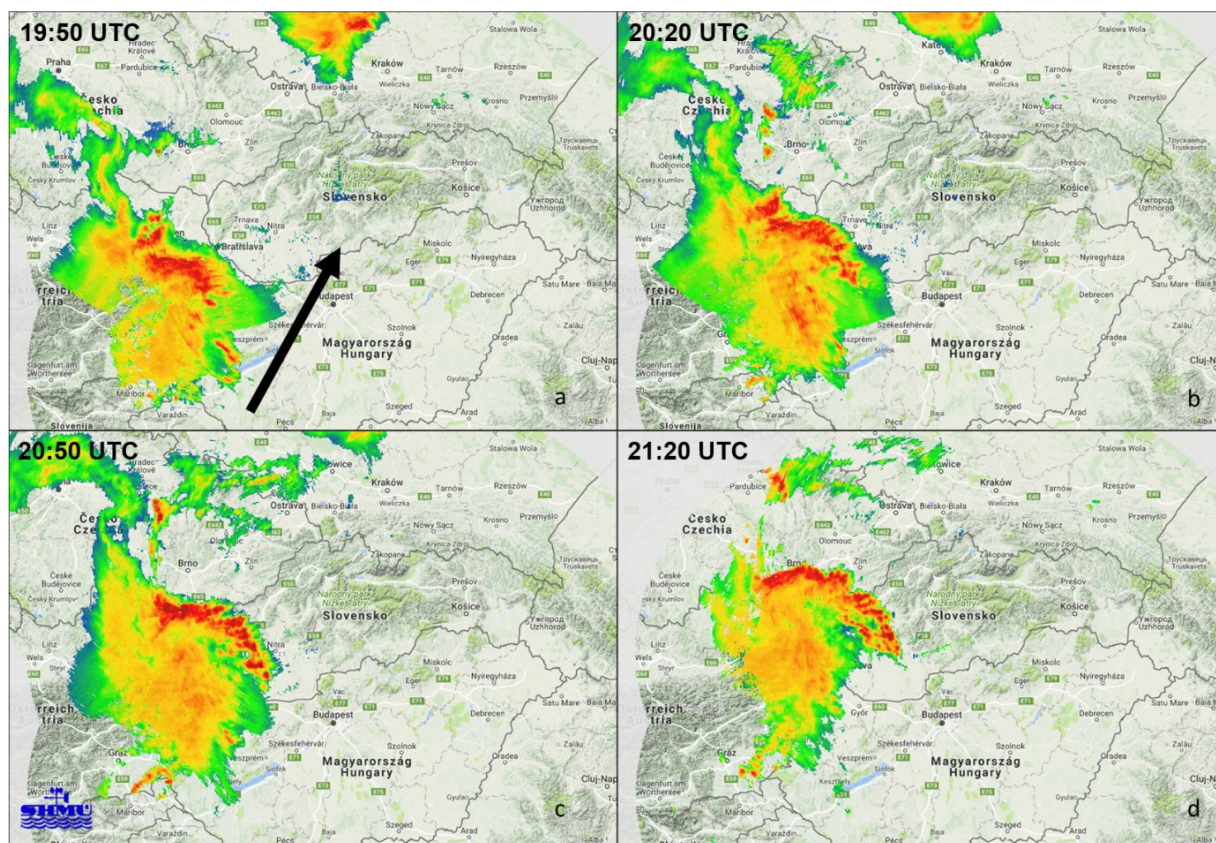
Vysoké nárazy vetra, okrem vyššie spomínaných, sa vyskytli aj na týchto staniciach:

- Jaslovské Bohunice 104 km/h (Obr. 22, dole),
- Bratislava Koliba 99 km.h⁻¹,
- Piešťany 98 km.h⁻¹,
- Kuchyňa 93 km.h⁻¹,
- Moravský Sv. Ján 92 km.h⁻¹,
- Slovenský Grob 83 km.h⁻¹.

Silný vietor spôsobil škody na majetku predovšetkým na juhozápade Slovenska. Išlo väčšinou o popadané stromy alebo strhnuté strechy (Obr. 23). Na čele postupujúceho konvektívneho systému sa vytvoril oblak arcus (typ shelf cloud-u), ktorý je typicky spojený s oblakom druhu Cumulonimbus. Neďaleko slovensko-rakúskych hraníc sa ho podarilo odfoťiť Martinovi Kováčovi. Na fotografii si môžeme všimnúť prach v prízemnej vrstve ovzdušia, ktorý silný vietor zvrátil až do výšky niekoľko sto metrov (Obr. 24).

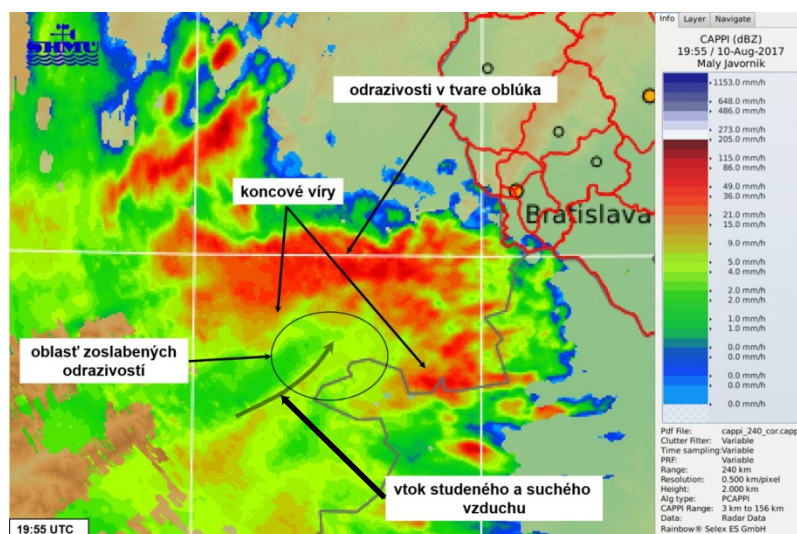
Obrázok 18. Séria snímok zobrazujúca postupujúci mezoškálový konvektívny systém (MCS) dňa 10.8.2017 vo večerných hodinách. Čierna šípka zobrazuje smer postupu MCS [kompozit z viacerých radarov (CAPPI 2 km)].

Figure 18. Series of images with show progressing mesoscale convective system (MCS) on 10.8.2017 in the night hours. Black arrow shows direction of progress of MCS [composite from several radars (CAPPI 2 km)].



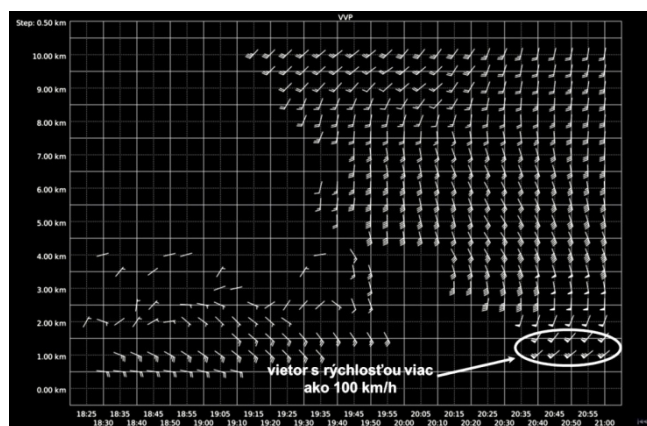
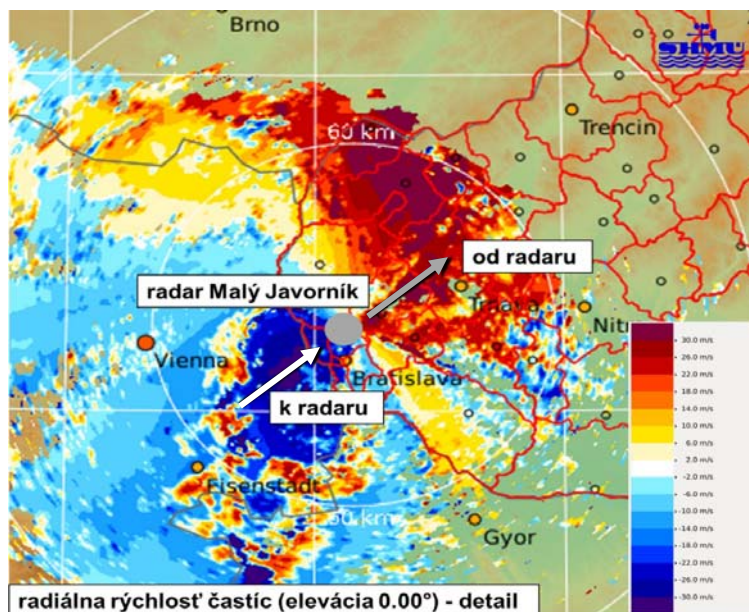
Obrázok 19. Radarové črty súvisiace s bow echom, ktoré postupovalo územím západného Slovenska dňa 10.8.2017 [radar Malý Javorník (CAPPI 2 km)].

Figure 19. Radar features connected with bow echo, which proceeded over the territory of western Slovakia on 10.8.2017 [radar Malý Javorník (CAPPI 2 km)].



Obrázok 20.
Črty na poli dopplerovskej
rýchlosti súvisiace s mezoškálovým
konvektívnym systémom
dňa 10.8.2017 o 21:00 UTC
[radar Malý Javorník
(MPPI (V) - elevácia 0.00°)].

Figure 20.
Features in Doppler velocity field
connected with mesoscale convective
system on 10.8.2017 at 21:00 UTC
[radar Malý Javorník
(MPPI (V) - elevation 0.00°)].

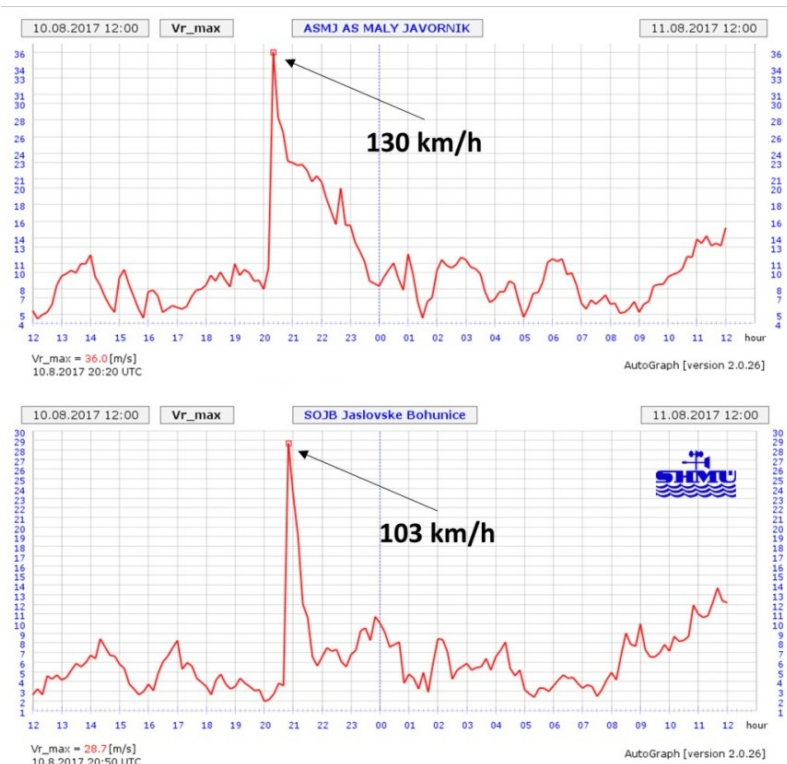


Obrázok 21. Vertikálny profil vetra dňa 10.8.2017
vo večerných hodinách získaný z merania radaru
na Malom Javorníku.

Figure 21. Vertical wind profile on 10.8.2017
in the night hours obtained from Malý Javorník
radar measurement.

Obrázok 22.
Nárazy vetra dňa 10.8.2017, grafický
výstup z klimatologickej automatickej
stanice SHMÚ Malý Javorník (hore)
a Jaslovské Bohunice (dole).

Figure 22.
Wind gusts on 10.8.2017, graphical
output from Malý Javorník (up)
and Jaslovské Bohunice (down)
SHMÚ climatological station.



Obrázok 23. Škody spôsobené vetrom, súvisiacim s bow echom dňa 10.8.2017, na viacerých miestach juhozápadného Slovenska (zdroj/lokalita: A.) Martin Bartal, Brodské; B.) Pavol Brenner, Malacky; C.) ludiapremalacky.sk, Malacky; D.) TASR, Bratislava-Rača; E.) pravda.sk, Bratislava-hlavná stanica; F.) TASR, Bratislava-Rača).

Figure 23. Damages caused by wind, related to bow echo on 10.8.2017, in several places in the southwest of Slovakia (source/location: A.) Martin Bartal, Brodské; B.) Pavol Brenner, Malacky; C.) ludiapremalacky.sk, Malacky; D.) TASR, Bratislava-Rača; E.) pravda.sk, Bratislava-main station; F.) TASR, Bratislava-Rača).



Obrázok 24. Oblak arcus (typ shelf cloud-u) odfotený neďaleko slovensko-rakúskych hraníc v čase, keď už bola na poli radarových odrazivosti pozorovaná črta v tvare oblúka, tzv. bow echo (zdroj: stormchasers.sk, foto: Martin Kováč).

Figure 24. Arcus cloud (shelf cloud type) picture taken near Slovak-Austria border in the time, when a feature in the shape of bow was already observed on radar reflectivity field (source: stormchasers.sk, photo: Martin Kováč).

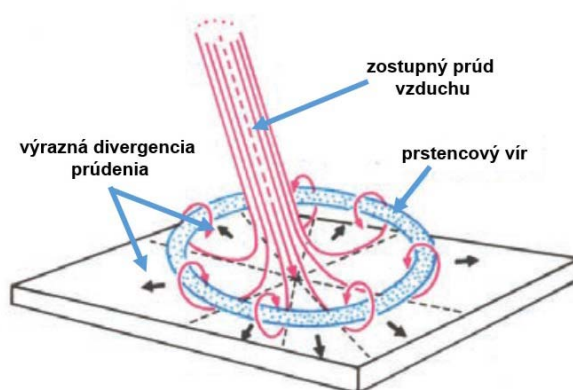


Downburst

Termín *downburst* prvýkrát predstavil Fujita (1976) a Fujita a Byers (1977). Bol definovaný ako silný zostupný prúd vzduchu, ktorý indukujú ničivý vietor na alebo blízko zemského povrchu (Fujita, 1976). Je charakteristický silno divergentným prúdením v prízemných hladinách s maximom divergencie v strede prúdu, odkiaľ sa silný nárazový vietor šíri do strán, viac menej symetricky, ako silná forma gust

Obrázok 25. Konceptuálny model microburstu. Po dopade intenzívneho zostupného prúdu vzduchu (tzv. downdraft) na zemský povrch dochádza k výraznej divergencii prúdenia. Upravené podľa (Houze, 1993), pôvodný obrázok v práci (Fujita, 1985).

Figure 25. Fujita's conceptual model of a microburst. After the impact of intensive downdraft on surface there is a marked divergence of flow. Edited by (Houze, 1993), original image at work (Fujita, 1985).



frontu³ (Řezáčová a kol., 2007). Konceptuálny model downburstu navrhol Fujita (1985) (Obr. 25) a na základe horizontálnych rozmerov rozdelil downburst na *microburst* a *macroburst*.

³ Čelo výtoku studeného vzduchu z konvektívneho oblaku

Macroburst je downburst veľkej mierky s horizontálnym priemerom presahujúcim 4 km, pričom doba trvania silného nárazového vetra s ničivými účinkami v prízemných hladinách je od 5 do 30 minút a rýchlosť vetra môže dosiahnuť až 60 m.s^{-1} (Fujita, 1985). Macrobursty sa vyskytujú väčšinou v spojení s mezoškálovými konvektívnymi systémami (Fujita, 1985).

Microburst je downburst malej mierky s horizontálnym priemerom presahujúcim 4 km, dĺžka trvania silného nárazového vetra s ničivými účinkami spravidla býva 2 až 15 minút a rýchlosť vetra môže dosiahnuť niekoľko desiatok m.s^{-1} , v Severnej Amerike zaznamenali rýchlosť vetra až 75 m.s^{-1} (Fujita, 1985).

V strednej Európe sú plošne rozsiahle downbursty spojené s organizovanými konvektívnymi systémami, s tzv. squall lines (Matiašová, 2010) a typicky sú s nimi spojené rozsiahle škody spôsobené vetrom.

Downburst (microburst) v Bratislave a okolí dňa 6.6.2017

Na začiatku júna v roku 2017 sme v Bratislave a okolí zaznamenali nárazy vetra, ktoré súviseli s búrkou rýchlo sa presúvajúcou cez juhozápadnú časť Slovenska ďalej na severovýchod. Búrku, ktorá vznikla len tesne pred Bratislavou, bolo z hľadiska nowcastingu veľmi náročné predpovedať. Inicioval ju studený front spojený s tlakovou nížou nad Britskými ostrovmi a Severným morom, ktorý sa presúval cez strednú Európu ďalej na východ.

Na základe analýzy snímok poľa dopplerovskej rýchlosti sme v oblasti len neďaleko radaru Malý Javorník identifikovali črty typické pre divergentné prúdenie (Obr. 26).

Medzi časticami s radiálnym pohybom od radaru (kladné hodnoty rýchlosti pohybu častíc) a k radaru (záporné hodnoty rýchlosti pohybu častíc) sa nachádzal pás nulových rýchlostí častíc približne kolmý na lúč vysielaný z radaru Malý Javorník (v prípade cyklonálnej rotácie napríklad v mezocyklóne supercely je pás nulových rýchlostí rovnobežný s vysielaným lúčom). Detailnejšie porovnanie rozdielov medzi divergentným prúdením generovaným downburstom a cyklonálnou rotáciou mezocyklóny v supercele ponúkame na obrázku 27.

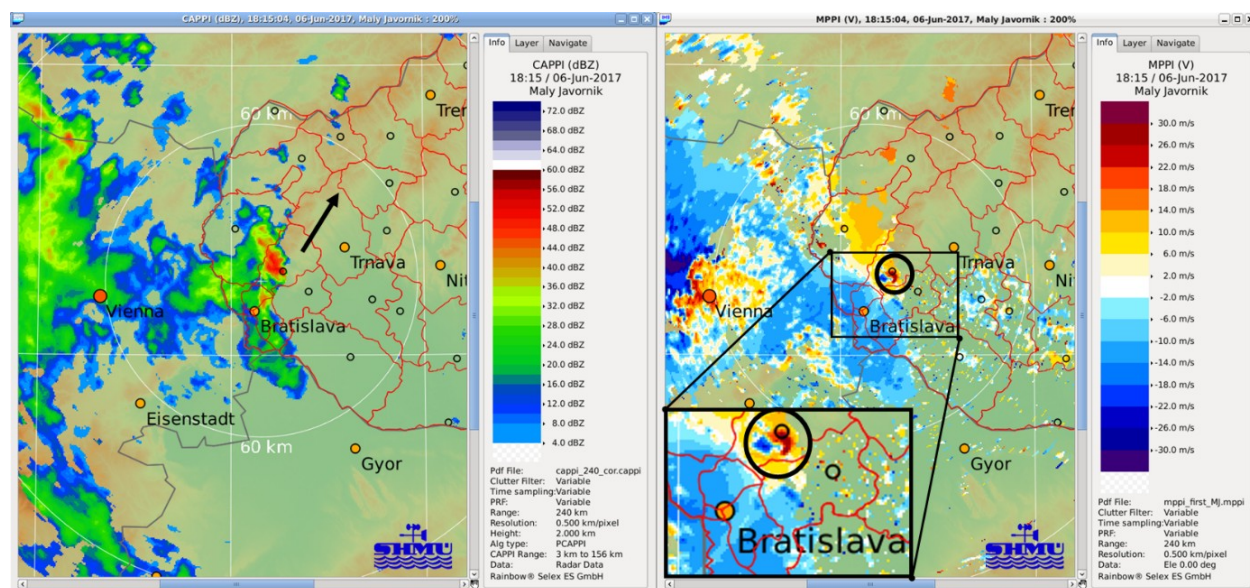
V súvislosti s downburstom sme najsilnejší náraz vetra zaznamenali na stanici v bratislavskej Mlynskej doline, kde dosiahol vietor rýchlosť až 101 km.h^{-1} (28 m.s^{-1}). Silný zostupný prúd vzduchu so zrážkami bol približne v čase identifikácie divergentného prúdenia na poli dopplerovskej rýchlosti pozorovaný aj z neďalekého Pezinka a zaznamenané boli aj lokálne škody vetrom (Obr. 28).

ZÁVER

Cieľom príspevku bolo na niekoľkých prípadoch z roku 2017 poukázať na možnosti detekcie nebezpečných konvektívnych javov s využitím štandardných produktov rádiolokačnej odrazivosti, ktoré sú v súčasnosti využívané na Odbore Meteorologických predpovedí a výstrah SHMÚ. Okrem základného produktu, akým je napríklad CAPPI 2 km, ktorý je na webovej stránke SHMÚ k dispozícii aj pre laickú verejnosť, prezentujeme v príspevku aj ďalšie dôležité – štandardné produkty, ktoré slúžia na detailnejšiu analýzu a identifikáciu nebezpečných štruktúr.

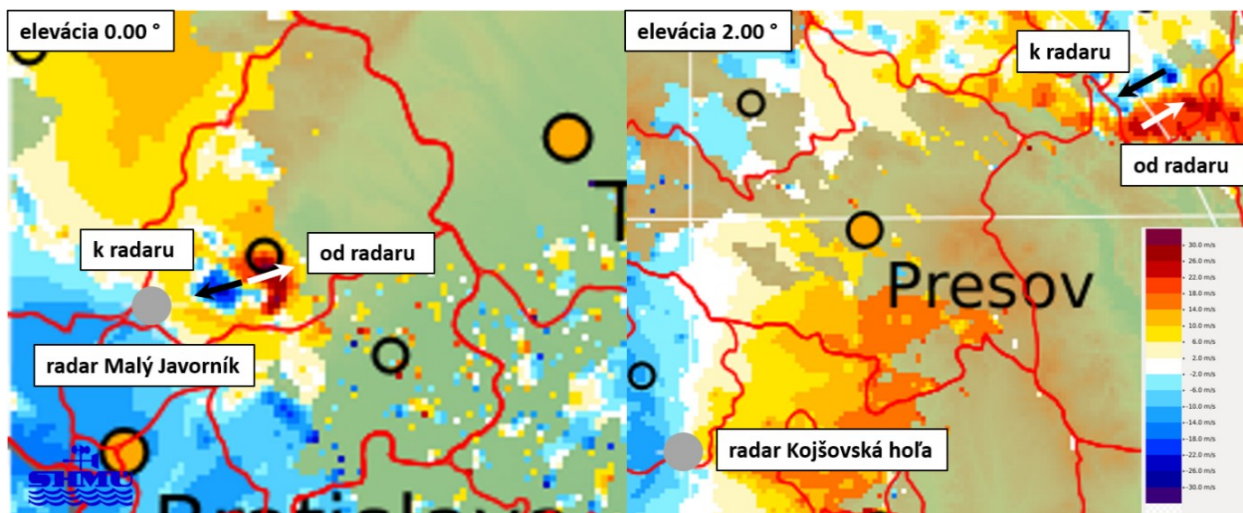
Obrázok 26. Radarové črty na poli rádiolokačnej odrazivosti (vľavo) a dopplerovskej rýchlosti (vpravo) súvisiace s downburstom identifikované neďaleko Bratislavy dňa 6.6.2017 o 18:15 UTC. Čierna šípka na obrázku vľavo naznačuje smer postupu konvektívnej bunky [radar Malý Javorník (CAPPI 2 km; MPPI (V) – elevácia 0.00°)].

Figure 26. Radar features in radar reflectivity (on the left) and Doppler velocity (on the right) field related with downburst identified near Bratislava on 6.6.2017 at 18:15 UTC. Black arrow on the left figure indicates progress of convective cell [radar Malý Javorník (CAPPI 2 km; MPPI (V) – elevation 0.00°)].



Obrázok 27. Črty na poli dopplerovskej rýchlosti, vľavo divergentné prúdenie generované downburstom (príklad zo dňa 6.6.2017), vpravo cyklonálna rotácia prítomná v mezocyklóne supercely (príklad zo dňa 23.6.2017), (biela šípka znázorňuje pohyb častíc od radaru, čierna k radaru, sivý kruh označuje polohu radaru na Malom Javorníku a na Kojšovskej hoľi)[radar Malý Javorník (MPPI (V) – elevácia 0.00°), radar Kojšovská hoľa (MPPI (V) – elevácia 2.00°)].

Figure 27. Features on Doppler velocity field, on the left divergent flow generated by downburst (example from 6.6.2017), on the right cyclonic rotation present in the supercell mesocyclone (example from 23.6.2017), white arrow shows the movement of the particles from the radar, black to the radar, grey circle indicates position of Malý Javorník and Kojšovská hoľa radar [radar Malý Javorník (MPPI (V) – elevation 0.00°), radar Kojšovská hoľa (MPPI (V) – elevation 2.00°)].



Obrázok 28. Silný zostupný prúd vzduchu z konvektívneho oblaku v sprievode zrážok odfotený z Pezinka dňa 6.6.2017 (fotku vľavo poslala Denisa Vaclavová Vavreková). Škody spôsobené downburstom odfotené 6.6.2017 v bratislavskej Mlynskej doline (fotku vpravo poskytol Miroslav Šinger).

Figure 28. Strong descent air stream from convective cloud with occurrence of rainfall, picture taken from Pezinok on 6.6.2017 (on the left – photo sent by Denisa Vaclavová Vavreková). Damages caused by downburst, picture taken 6.6.2017 in Bratislava Mlynská dolina (on the right – photo sent by Miroslav Šinger).



Prvým analyzovaným prípadom bola supercela, ktorá sa vyskytla na severovýchode Slovenska dňa 23.6.2017. Supercela mala typické črty na poli rádiolokačnej odrazivosti, ale čo je dôležitejšie, aj na poli dopplerovskej rýchlosti. V súvislosti so supercelou boli zaznamenané aj nebezpečné prejavy počasia, a to predovšetkým intenzívne

zrážky, silný vietor, ale aj veľké krúpy s dokumentovaným priemerom 2 až 3 cm.

Ďalším analyzovaným prípadom bolo bow echo, ktoré 10.8.2017 zasiahlo územie západného Slovenska. V tejto súvislosti boli na veľkej ploche spomínaného územia zaznamenané materiálne škody spôsobené vetrom. Situácia

priniesla veľký ohlas v médiách, medzi laickou verejnosťou a aj v odborných kruhoch. Hlavne kvôli plošnému rozsahu škôd, ktoré zo sebou rozsiahle bow echo často prináša, je možné práve tento konvektívny jav považovať za nebezpečnejší, ako je vyššie spomínaná supercelly.

Posledným analyzovaným prípadom bol downburst, ktorý sa vyskytol v Bratislave a okolí na začiatku júna 2017. Konvektívna bunka, ktorá sa vo veľmi krátkom čase vytvorila len neďaleko hraníc Slovenska a Rakúska postupovala cez Bratislavu, pozdĺž Malých Karpát, ďalej na severovýchod. Výrazný zostupný prúd vzduchu spolu so zrážkami odfotili aj obyvatelia Bratislavy a okolia dňa 6.6.2017 vo večerných hodinách. Na klimatologickej stanici v bratislavskej Mlynskej doline bol približne v tom čase nameraný náraz vetra cez 100 km.h⁻¹ a v oblasti boli spôsobené aj škody vetrom. Tento prípad však nebol vybraný kvôli rozsiahlosti škôd alebo rýchlosti nameraného vetra, ale predovšetkým z toho dôvodu, že sa nám na poli dopplerovskej rýchlosti podarilo identifikovať črty súvisiace s divergentným prúdením. V praxi je dôležité vedieť na poli dopplerovskej rýchlosti rozlíšiť známky divergentného prúdenia od cyklonálnej rotácie. V prvom prípade môže divergentné prúdenie vyvolať downburst, v prípade druhom je cyklonálna rotácia spojená s mezocyklónou supercelly (Obr. 27).

Problematika prognózy všetkých spomínaných konvektívnych štruktúr vyplýva hlavne z nelinearity ich vývoja, kvôli čomu sa predpovedanie niekedy obmedzuje len na nowcasting. Podmienky pre vznik organizovaných konvektívnych štruktúr je však možné predpovedať aj na dlhšie obdobie, a to prostredníctvom numerických modelov (na predpovedanie sa používa najmä vyššie v texte spomínaný vertikálny strih vetra). Pri vydávaní výstrah na dlhšie obdobie je dôležité sledovať najmä hodnotu vertikálneho strihu vetra v danej oblasti, ale aj ďalšie veličiny, ktoré sú s vertikálnym strihom vetra spojené, ako napríklad: EHI, SREH, Supercell parameter a pod.

LITERATÚRA

- Bluestein, H.B.–Woodall, G.R., 1990, Doppler-radar analysis of a lowprecipitation severe storm. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1640–1664.
- Brooks, H.E., 2009, Proximity soundings for Europe and the United States from reanalysis data. *Atmos. Res.*, 93, 546–553.
- Brooks, H. E.–Doswell, C.A. III–Wilhelmson, R.B., 1994, The role of midtropospheric winds in the evolution and maintenance of low-level mesocyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 126–136.
- 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.
- Bunkers, M.J.–Hjelmfelt, M.R.–Smith, P.L., 2006, An observational examination of long-lived supercells. Part I: Characteristics, evolution, and demise. *Wea. Forecasting*, 21, 673–688. doi: 10.1175/WAF949.1.
- Burgess, D.W.–Lemon, L.R., 1990, Severe thunderstorm detection by radar. *Radar in Meteorology*, D. Atlas, Ed. *Amer. Meteor. Soc.*, 619–647.
- Byers, H.R.–Braham, R.R., 1949, *The Thunderstorm*. U. S. Government print. Office. 287 pp.
- Caletka, M., 2013, Identifikace konvektivních a stratiformních srážek na základě údajů dálkové detekce. [Diplomová práce] Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita. Brno, 2013. 97 s.
- Donaldson, R.J., Jr., 1970, Vortex signature recognition by a Doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, 9, 661–670.
- Doswell, C.A. III, 1991, A review for forecasters on the application of hodographs to forecasting severe thunderstorms. *Nat. Wea. Dig.*, 16 (1), 2–16.
- Doswell, C.A. III–Burgess, D.W., 1993, Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. *The Tornado: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards*, Geophys. Monogr., No. 79. *Amer. Geophys. Union*, 161–172.
- Fujita, T.T., 1960, A detailed analysis of the Fargo tornadoes of June 20, 1957. *U. S. Weather Bureau Research Paper No. 42*, 67 pp.
- Fujita, T. T., 1976, Spearhead echo and downburst near the approach end of a J.F. Kennedy Airport runway. *SMRP Res. Paper 137*, Univ. Of Chicago, 51 pp.
- Fujita, T.T.–Byers, H.R., 1977, Spearhead echo and downburst in the crash of an airliner. *Mon. Wes. Rev.*, 105, 129–146.
- Fujita, T.T., 1978, Manual of downburst identification for project NIMROD. *SMRP Research Paper 156*, University of Chicago, 42 pp.
- Fujita, T.T., 1985, The downburst – microburst and macroburst. Report of Projects NIMROD and JAWS. *SMRP*, University of Chicago, 1985, 122 pp.
- Hasa, J.P., 2012, Nowcasting hail size for non-supercell thunderstorms in the northeastern U.S. [online]. Monterey, California. Naval Postgraduate School. 2012, 61 pp. [cit. 2018-04-09]. dostupné z: < <https://lnk.sk/JMQ9> >
- Heuscher, L.V., 2016, Hail Variability in Supercell Storms and Response to Environmental Variables [online]. *Dissertations & Theses in Earth and Atmospheric Sciences*, 2016, 101 pp. [cit. 2018-04-09]. dostupné z: < <https://lnk.sk/vwHT> >
- Houze, R., 1993, *Cloud Dynamics*. International Geophysics Series, 53, Academic Press, 1993.
- Jurašek, M.–Kaňák, J.–Kotlířková, D., 2009, História družicových meteorologických pozorovaní v Slovenskom hydrometeorologickom ústave. 208–211.
- Kessler, E., 1986, ed.: *Thunderstorm morphology and Dynamics*. 2. Vydanie, Norman: Univ. Oklahoma Press., 1986, 411 s.
- Klemp, J.B., 1987, Dynamics of tornadic thunderstorms. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 19, 369–402.
- 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].
- Lemon, L.R.–Doswell C.A. III, 1979, Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornado-genesis. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1184–1197.
- Maddox, R.A., 1980, Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 1980, 1374–1387.
- Moller, A.R.–Doswell, C.A. III–Foster, M.P.–Woodall, G.R., 1994, The operational recognition of supercell thunderstorm environments and storm structures. *Wea. Forecasting*, 9, 327–347.
- Markowski, P.M.–Richardson, Y.P., 2010, *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. 1st ed. Wiley-Blackwell, 407 pp.

- Matiašová, M. 2010. Downbursty na Slovensku. [Diplomová práca]. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave. 103 s.
- Nolen, R.H., 1959, A radar pattern associated with tornadoes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 40, 277–279.
- Przybylinski, R.W., 1995, The Bow Echo: Observations, Numerical Simulations, and Severe Weather Detection Methods. *National Weather Service Forecast Office/NOAA, St. Louis, Missouri*. 203–217.
- Rotunno, R.–Klemp, J.B.–Weisman, M.L., 1988, A theory for strong, long-lived squall lines. *J. Atmos. Sci.* 45, 1988, 463–485.
- Řezáčová, D.–Novák, P.–Kašpar, M.–Setvák, M., 2007, Fyzika oblaků a srážek. *Academia Praha*. 574 s. ISBN 978-80-200-1505-1.
- Selex ES, 2015, *Software Manual Rainbow®5. Products and Algorithms*. Release 5.43.0. 2015. 479 s.
- Šinger, M., 2013, Supercely v strednej Európe. Základné črty superciel namerané rádiolokátormi SHMÚ. [Diplomová práca]. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave. 149 s.
- Thompson, R.L.–Edwards, R.–Hart, J.A.–Elmore, K.L.–Markowski, A.P., 2003, Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. *Wea. Forecasting*, 18, 1243–1261.
- Weisman, M.L.–Klemp, J.B., 1982, The dependence of numerically Simulated Convective Storms on Vertical Wind Shear and Buoyancy. *Mon. Wea. Rev.* 110, 1982, 504–520.
- Weisman, M. 1993. The genesis of severe, long-lived bow echoes, 1993, *J. Atmos. Sci.*, 50, 1993.

INFORMÁCIE INFORMATION

KLIMATOLOGICKÉ ZHODNOTENIE ROKA 2017

Rok 2017 ako celok bol na Slovensku veľmi až mimoriadne teplý (predovšetkým na západnom Slovensku) a z pohľadu množstva atmosférických zrážok bol v rámci normálu. V teplom polroku sa vyskytlo päť výraznejších vln horúčav, a to predovšetkým v druhej polovici júna a na prelome júla a augusta 2017. K pozoruhodným poveternostným a klimatickým anomáliám patrili studený až veľmi studený január 2017 (piaty najchladnejší aspoň od roku 1961), ďalej druhý najteplejší marec, ale napríklad aj veľmi až mimoriadne vlhký apríl a mimoriadne vlhký september 2017, ktorý podstatne zvrátil (spolu s nasledujúcimi mesiacmi), nepriaznivú bilanciu atmosférických zrážok a na západnom Slovensku aj rozvoj závažného sucha.

The annual mean temperature of the year 2017 was much above normal (in some western regions exceptionally above normal) in Slovakia and it was in the line with normal amount of atmospheric precipitation. During the summer 2017 (and warm half-year) five heat waves occurred in the central Europe and Slovakia. The most extreme were the ones in the second half of June and at the end of July and in the beginning of August 2017. The remarkable weather and climate anomalies hit Slovakia also in January 2017 (very cold spell thorough the month, January was the fifth coldest since 1961), in March 2017 (the second warmest since 1961 as well as in April and September (exceptionally wet months with precipitation totals very much above normal). Very high precipitation totals in September, together with significantly high surplus of precipitation in the following months (from October till December) had a positive effect on unfavourable balance of atmospheric precipitation and significantly reduced the development of very serious drought in western Slovakia in 2017.

Key words: state of climate, Slovakia, 2017, state of global climate in 2017

Globálny kontext

Rok 2017 skončil z pohľadu globálnej teploty podľa údajov NOAA [1], NASA [2], CRU [3, 4] ako druhý až tretí najteplejší aspoň od roku 1880, pričom odchýlka teploty v porovnaní s normálom 1961–1990 dosiahla hodnotu $+0,80^{\circ}\text{C}$, a v porovnaní s pred industriálnym obdobím (1880–1900 podľa WMO) $+1,12^{\circ}\text{C}$. Pokiaľ ide o ročné sezóny, ako relatívne najteplejšie skončilo obdobie december 2016 až február 2017 (zima na severnej pologuli) s odchýlkou $+0,87^{\circ}\text{C}$, resp. obdobie mesiacov marec až máj ($+0,85^{\circ}\text{C}$, v porovnaní s 1961–1990). Medzi relatívne najteplejšie regióny patrili v minulom roku kontinentálne oblasti severnej pologule, a predovšetkým oblasť Arktídy, vrátane centrálnej a východnej Sibíri, s odchýlkami aj viac ako $+2,0^{\circ}\text{C}$. Veľká časť Európy, Sev. Ameriky či Austrálie mala odchýlku teploty v intervale od $+1,0$ do $+2,0^{\circ}\text{C}$. V Európe bol rok 2017 prevažne teplý až veľmi teplý. Z jednotlivých sezón roka v Európe boli relatívne najteplejšie jar a leto 2017, v Škandinávii aj zima 2016/2017 s odchýlkami viac ako $+4,0^{\circ}\text{C}$. Z hľadiska množstva atmosférických zrážok v roku 2017, silne nadnormálne (až extrémne) úhrny zrážok boli zaznamenané predovšetkým na území Severnej Ameriky. Zrážkovo nadnormálne úhrny boli aj v Južnej Amerike (predovšetkým v Argentíne), v Číne alebo v niektorých regiónoch juhovýchodnej Ázie. Ročný úhrn zrážok bolo v rámci normálu na väčšine územia Brazílie, severozápadu Južnej Ameriky či väčšej časti Strednej Ameriky. Čiastočne sa tak v týchto regiónoch vyrovnal značný vlahový deficit z obdobia rokov 2015–2016, ktorý sa vytvoril počas pôsobenia fenoménu El Niño. Normálne až nadpriemerné úhrny zrážok boli zaznamenané aj v niektorých oblastiach Afriky, vrátane Sahelu. Naopak, monzúnové obdobie prinieslo do oblasti Indie celkovo podpriemerné množstvo zrážok (o 5 % menej ako dlhodobý priemer). K relatívne suchším regiónom, s významne podnormálnymi zrážkami, sa v priebehu roka 2017 zaradili oblasti ako Mongolsko, Stredomorie, Somálsko či vnútrozemie Kanady. V Európe bolo množstvo zrážok prevažne normálne, na severe až nadnormálne, na juhu,

najmä na Iberskom polostrove, podnormálne. S výnimkou vlhkej jesene boli ostatné sezóny prevažne zrážkovo normálne alebo podnormálne (deficitné). Relatívne najsuchšia bola zima 2016/17, a v južnej Európe aj leto 2017. Príčinou bolo prevládajúce zonálne prúdenie vzduchu, ktoré spôsobilo, že prevažná časť frontálnych systémov prinášajúcich výdatnejšie zrážky smerovala cez Škandináviu, sev. Nemecko a Poľsko ďalej nad Pobaltie a Rusko.

Rozsah arktického morského ľadu bol výrazne podpriemerný v priebehu celého roka 2017 a dosahoval rekordne nízke hodnoty predovšetkým v období mesiacov január až apríl. Sezónne maximum rozsahu arktického morského ľadu zaznamenané začiatkom marca 2017 sa zaradilo medzi päť najnižších v období satelitných pozorovaní (1979–2017). Minimum rozsahu arktického morského ľadu z polovice septembra 2017 bolo o 25 až 31 % nižšie v porovnaní s priemerom 1981–2010, a zaradilo sa medzi osem najnižších za posledných 38 rokov.

Rozsah antarktického morského ľadu bol taktiež významne podpriemerný. Jeho sezónne maximum, zaznamenané na začiatku marca 2017, bolo rekordne nízke a ročné maximum v polovici októbra bolo druhé najnižšie od roku 1979. Podmienky formovania morského ľadu v oblasti Antarktídy boli v priebehu posledných rokov veľmi premenlivé. To sa čiastočne prejavilo aj vo veľkej medziročnej variabilite jeho maximálneho a minimálneho rozsahu.

V dôsledku nadpriemerných zrážok vo forme snehu a len krátko trvajúceho topenia ľadu bol v Grónsku pozorovaný nárast celkovej hmotnosti ľadu o viac ako 40 mld. ton za rok. Celkový trend ubúdania zásob ľadu v Grónsku je však od roku 2002 výrazne negatívny. Aj napriek prírastku v roku 2017, grónsky ľadovec stratil za posledných 15 rokov zo svojej pôvodnej hmotnosti približne 3 600 mld. ton ľadu.

Hladina svetových oceánov a morí bola v priebehu roka 2017 relatívne stabilná, pričom dosahovala úroveň zo začiatku roka 2015 (predovšetkým v dôsledku silného fenoménu El Niño), aj keď satelitné merania altimetrie morskej hladiny poukazujú na mierny nárast v druhej polovici roka 2017. Podobne ako globálna teplota vzduchu, aj teplota oceánov a morí bola v priebehu roka 2017 mimoriadne vysoká a pravdepodobne sa zaradí medzi tri najvyššie hodnoty aspoň od roku 1979 (tepelný obsah oceánov dosahuje takmer rekordne najvyššie hodnoty).

Správa Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) o stave klímy za rok 2017 uvádza, že mnohé zo zapa-

menaných extrémnych prejavov počasia v roku 2017 niesli znaky vplyvu klimatickej zmeny a uviedla aj mnohé dopady na socio-ekonomické sektory [5]. V roku 2017 sa na Zemi vyskytlo niekoľko pozoruhodných poveternostných a klimatických extrémov. V prvej polovici roku to bola predovšetkým doznievajúca chladná fáza ENSO (La Niña) v centrálnej a východnej časti Tichého oceánu. Za zmienku určite stojí aj výskyt troch veľmi silných tropických cyklón (Harvey, Irma a Maria) v oblasti západného Atlantického oceánu a Karibského mora, ktoré v regióne od Malých Antíl až po južný Texas a Floridu spôsobili mimoriadne závažné škody.

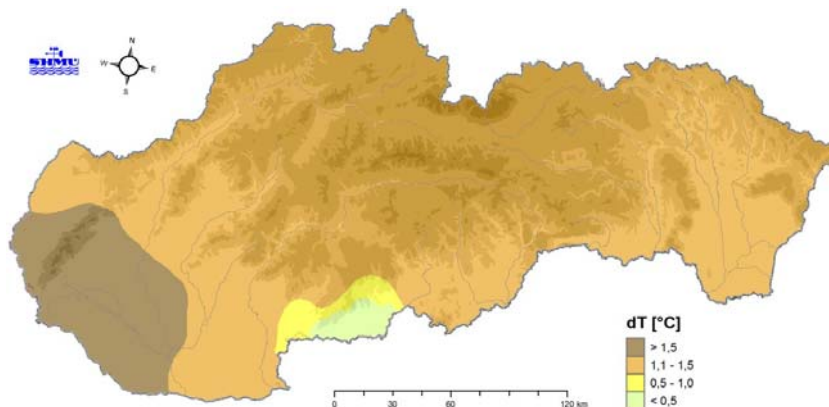
Teplota vzduchu na Slovensku

Rok 2017 skončil na väčšine územia Slovenska v porovnaní s klimatickým normálom 1961–1990 ako veľmi až mimoriadne teplý. Priemerná územná teplota vzduchu bola 8,4 °C, pričom odchýlka od normálu 1961–1990 [1] bola +1,3 °C. V porovnaní s novším normálom 1981–2010 odchýlka priemernej ročnej teploty vzduchu bola +0,8 °C. Relatívne najteplejšie bolo v západnej, resp. juhozápadnej časti Slovenska (Obr. 1), kde odchýlka od normálu bola vyššia ako +1,5 °C. Územný priemer teploty vzduchu zaradil rok 2017 ako 12. najteplejší aspoň od roku 1961, avšak v niektorých oblastiach na krajnom juhozápade oblasti Bratislavy ako 2. až 3. (Bratislava-letisko), resp. 5 až 7. (Bratislava-Koliba) najteplejší aspoň od roku 1961. Súvislejšie chladné periódy boli len v januári, od polovice apríla do polovice mája a v druhej polovici septembra. V ostatnom priebehu roka sa teplotná krivka pohybovala nad priemerom (Obr. 3).

Zima 2016/17 (december 2016 až február 2017) na väčšine územia Slovenska patrila medzi teplotne normálne zimy, čo je však dôsledok kompenzácie veľmi studeného januára a veľmi teplého februára. Podľa údajov z meteorologickej stanice v Hurbanove skončila zima 2016/17 ako 30. až 32. najchladnejšia od roku 1901. Zima 2016/17 bola najchladnejšou zimou od zimy 2005/06, ktorá však bola výrazne chladnejšia, predovšetkým na severe Slovenska. Priemerná územná odchýlka zimy 2016/17 od normálu 1961–1990 dosiahla –0,3 °C (–0,8 °C v porovnaní s 1981–2010, Obr. 2), pričom relatívne teplejšia bola vo vyšších nadmorských výškach a miestami aj v niektorých kotlinových polohách na severe stredného a východného Slovenska (na Lomnickom štíte až o +1,3 °C).

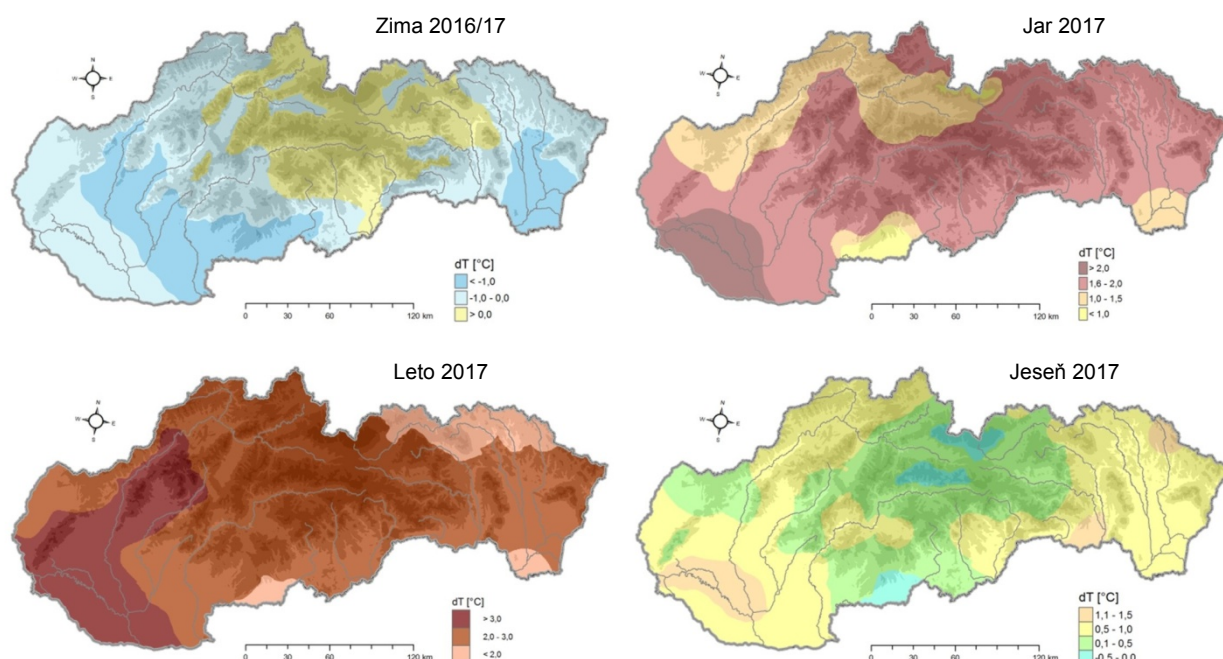
Obrázok 1.
Odchýlka priemernej ročnej teploty
vzduchu na Slovensku v roku 2017
v porovnaní s normálom 1961–1990
[Zdroj: SHMÚ].

Figure 1.
Deviation of mean annual air
temperature in Slovakia in 2017
compared to 1961–1990
[Source: SHMÚ].



Obrázok 2. Odchýlka priemernej sezónnej teploty vzduchu na Slovensku v roku 2017 v porovnaní s normálom 1961 – 1990; v zime 2016/17 (hore vľavo), na jar 2017 (hore vpravo), v lete 2017 (dole vľavo) a na jeseň 2017 (dole vpravo) [Zdroj: SHMÚ].

Figure 2. Deviation of mean seasonal air temperature in Slovakia in 2017 compared to 1961 – 1990; in winter 2016/17 (top left), spring 2017 (top right), summer 2017 (bottom left) and autumn 2017 (bottom right) [Source: SHMÚ].



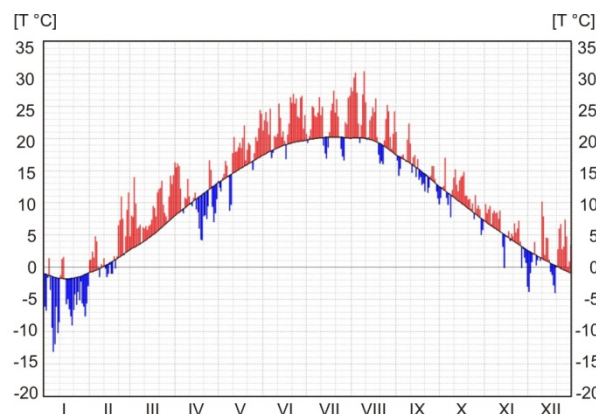
Naopak, chladnejšia vo východnej časti Podunajskej nížiny, na strednom Považí a Ponitří a na Východoslovenskej nížine (menej ako o $-1,0^{\circ}\text{C}$). Zima sa začala teplotne normálnym až teplým decembrom. Na rozdiel od decembra, január 2017 skončil v porovnaní s normálovým obdobím 1961 – 1990 ako studený až veľmi studený mesiac ($-3,6^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s 1961 – 1990). Na väčšine územia Slovenska išlo o najchladnejší január od roku 1985 (niekde od 1987), no našli sa aj meteorologické stanice, kde sa chladnejší január od tuhej zimy 1941/42 zatiaľ nevyskytol. Február 2017 bol v priemere teplý až veľmi teplý ($+2,4^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s 1961 – 1990), a predovšetkým v poslednej dekáde nadobudol až jarný charakter (v posledných dňoch mesiaca boli dokonca prekonané aj teplotné rekordy pripadajúce napr. na 28. február). Absolútne minimum teploty vzduchu v priebehu zimy 2016/17 bolo zaznamenané v Oravskej Lesnej, a to dňa 8.1.2017 ($-35,5^{\circ}\text{C}$).

Po teplotne normálnej zime, jar 2017 skončila s odchýlkou $+1,7^{\circ}\text{C}$ od normálu 1961 – 1990 ako teplotne mimoriadne nadnormálna ($+1,2^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s 1981 – 2010). V závislosti od regiónu išlo o 3. až 8. najteplejšiu jar aspoň od roku 1951. Relatívne najteplejším mesiacom minulo-ročnej jari bol marec, ktorý hodnotíme ako 2. až 3. Najteplejší marec aspoň od roku 1951, s priemernou odchýlkou $+3,7^{\circ}\text{C}$ (v porovnaní s 1961 – 1990). V Hurbanove s priemernou teplotou $+9,0^{\circ}\text{C}$ bol marec 2. najteplejší aspoň od roku 1901 a zaradil sa tak za historicky najteplejší marec z roku 2014. Relatívne najchladnejším jarným mesiacom bol apríl 2017, hoci priemerná odchýlka $-0,2^{\circ}\text{C}$ (v porovnaní s 1961 – 1990) ho radí medzi teplotne normálne mesiace. Máj bol však opäť teplotne nadnormálnym mesiacom,

s priemernou územnou odchýlkou $+1,7^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s obdobím 1961 – 1990. Prvý tropický deň ($T_{\text{max}} \geq 30^{\circ}\text{C}$) bol v roku 2017 zaznamenaný na stanici v Holíči dňa 29.5., kedy maximálna denná teplota vzduchu vystúpila na $30,4^{\circ}\text{C}$. V priebehu nasledujúceho dňa, 30.5., bol tropický deň zaznamenaný na 27 meteorologických staniách na Slovensku. V priebehu mája 2017 sa však vyskytlo aj niekoľko mrazových dní ($T_{\text{min}} < 0^{\circ}\text{C}$), dňa 10.5.2017 dokonca aj na mnohých miestach južného a juhozápadného Slovenska, pričom v kotlinách stredného a východného Slovenska mrzlo aj v dňoch 1.5., 9.5. a 11.5.2017.

Obrázok 3. Ročný chod odchýlky priemernej dennej teploty vzduchu v Hurbanove v roku 2017 (v porovnaní s normálom 1961 – 1990) [Zdroj: SHMÚ].

Figure 3. Annual regime of daily air temperature deviations in Hurbanovo in 2017 (compared to 1961 – 1990) [Source: SHMÚ].



Z ročných sezón relatívne najteplejšie bolo leto, ktoré s odchýlkou $+2,7^{\circ}\text{C}$, v porovnaní s normálom 1961–1990, skončilo ako mimoriadne teplé ($+1,7^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s 1981–2010). Leto 2017 bolo na väčšine meteorologických staníc 2. až 4. najteplejšie aspoň od roku 1951, v Hurbanove ako 3. najteplejšie aspoň od roku 1901 (priemer za leto: $22,6^{\circ}\text{C}$; odchýlka od normálu 1961–1990: $+3,1^{\circ}\text{C}$). Všetky tri letné mesiace boli teplotne nadnormálne, pričom najteplejším mesiacom leta bol august s priemernou odchýlkou $+3,2^{\circ}\text{C}$ od normálu 1961–1990. Relatívne najteplejší bol však jún 2017 ($+2,5^{\circ}\text{C}$ nad normálom 1981–2010), ktorý bol 2. najteplejším júnom v histórii meteorologických pozorovaní na Slovensku. V priebehu minuloročného leta sme na území Slovenska evidovali päť výraznejších vln horúčav, pričom dve z nich trvali minimálne sedem dní (19.–28.6.2017 a 30.7.–5.8.2017; Obr. 3). V priebehu štvrtej vlny horúčav na prelome júla a augusta 2017 na Slovensku bolo namerané aj absolútne teplotné maximum v minulom roku, $38,8^{\circ}\text{C}$ (Senica; 3.8.2017). V priebehu leta 2017 sme zaznamenali 62 tropických dní (výskyt aspoň na jednej meteorologickej stanici) a 29 tropických nocí. Najviac tropických dní sme zaregistrovali v Dolných Plachtinciach (49) a v Slovenskom Grobe (49), a ďalej v Gabčíkove (46), Žihárce (45) a Dudinciach (45). Najviac tropických nocí sme pozorovali v Žihárce (14) a Bratislave-Mlynskej doline (13). Počet letných dní (od apríla do septembra) na pomerne veľkom území na juhu Slovenska presiahol hodnotu 70 dní (na niektorých staniciach ide o vôbec najvyššiu hodnotu aspoň od roku 1951; napr. Bratislava-Koliba, Bratislava-letisko alebo Poprad). Leto 2017 bolo typické aj tým, že sa zaradilo medzi historicky „najsľnečnejšie“ letá aspoň od roku 1951, s trvaním celkového sľnečného svitu v južných oblastiach Podunajskej nížiny viac ako 950 hodín.

Obdobie mesiacov september až november 2017 (jeseň 2017) bolo na väčšine územia Slovenska teplotne normálne až nadnormálne, s priemernou územnou odchýlkou teploty vzduchu $+0,5^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s normálom 1961–1990. V porovnaní s normálom 1981–2010 skončila jeseň ako teplotne normálna ($+0,3^{\circ}\text{C}$). Relatívne najteplejším mesiacom jesene bol november 2017 s teplotnou odchýlkou $+0,8^{\circ}\text{C}$, relatívne najchladnejší bol september s odchýlkou $+0,1^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s normálom 1961–1990.

Atmosférické zrážky na Slovensku

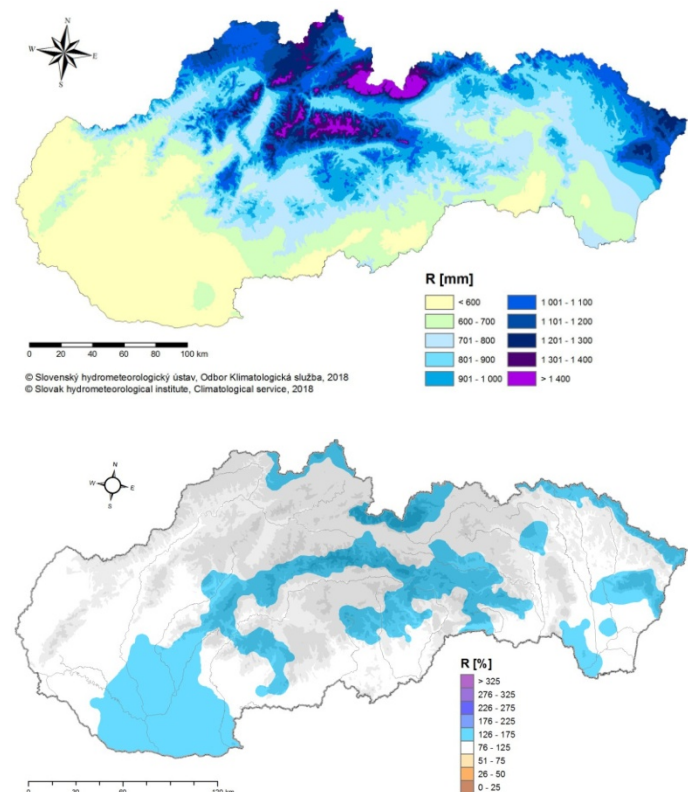
Na rozdiel od roka 2016, ktorý bol charakteristický značným prebytkom atmosférických zrážok ($+20\%$ v porovnaní s obdobím 1901–2000), rok 2017 skončil celkovo ako zrážkovo normálny. Boli však oblasti na západe a juhozápade Slovenska s deficitom zrážok a najmä severné časti stredného a východného Slovenska s prebytkom zrážok (Obr. 4).

Územný ročný priemer množstva zrážok dosiahol 827 mm ($+65$ mm, 109% v porovnaní s dlhodobým priemerom 1901–2000). Absolútne a aj relatívne najmenej zrážok spadlo v priebehu roka na západnom Slovensku, v priemere len 562 mm (-100 mm, 85% DP), naopak absolútne najviac na strednom Slovensku, a to 1001 mm ($+129$ mm, 115% DP), a relatívne najviac na východnom Slovensku, 885 mm ($+138$ mm, 118% DP). Absolútne najvyššie ročné úhrny zrážok sme zaznamenali vo vysokohorských oblastiach Tatier – viac ako 1500 mm (Lomnický štít 2300 mm), naopak najnižšie hodnoty v oblasti krajného juhozápadu Slovenska (napr. Senec 389 mm). Pri pohľade na vývoj zrážkovej bilancie v jednotlivých mesiacoch roka 2017 (Obr. 5) vidíme, že v období od januára do augusta 2017, prevládali mesiace s nedostatkom zrážok. Tento vývoj sa však významne zmenil v septembri, kedy v dôsledku výdatnejších celoplošných zrážok, a to predovšetkým na strednom a východnom Slovensku, došlo k vyrovnaní predošlej negatívnej bilancie zrážok (Obr. 6 a 7).

Zima 2016/17 ako celok skončila ako veľmi suchá. V niektorých oblastiach na juhu Slovenska to bola dokonca piata najsuchšia zima aspoň od roku 1901. Viac zrážok sa vyskytlo len na krajnom severovýchode Slovenska. Snehu bolo v priebehu zimy relatívne málo, s výnimkou niektorých horských oblastí na strednom, a predovšetkým východnom Slovensku. Na krajnom severovýchode Slovenska sa akumulovala snehová pokrývka a v polovici januára 2017, kde dosiahla pre polovicu januára mimoriadne vysoké hodnoty (Medzilaborce, 14.1.2017, 82 cm). Vysoké zásoby snehu v uvedených oblastiach sa pri topení vo februári 2017 a na začiatku marca 2017 prejavili vysokými vodnými stavmi a prietokmi riek.

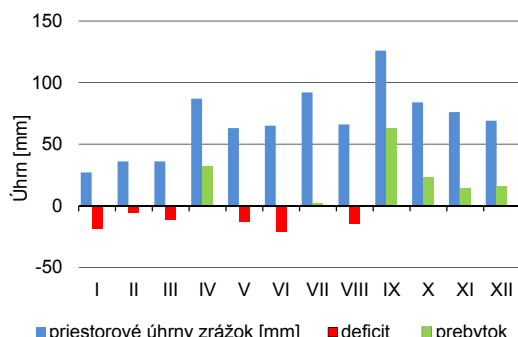
Obrázok 4. Ročný úhrn atmosférických zrážok za rok 2017 v mm (hore) a v % normálu 1961–1990 (dolu) [Zdroj: SHMÚ].

Figure 4. Annual precipitation totals in Slovakia in 2017 in mm (top) and in per cent of normal 1961–1990 (bottom) [Source: SHMÚ].



Obrázok 5. Mesačné hodnoty priestorového úhrnu zrážok vyjadrené v mm deficitu, resp. prebytku v porovnaní s dlhodobým priemerom za obdobie 1901–2000 na Slovensku v roku 2017 [Zdroj: SHMÚ].

Figure 5. Monthly precipitation totals in Slovakia in 2017 expressed in millimeters of deficit/surplus compared to long-term average 1901–2000 [Source: SHMÚ].



Jar 2017 bola zrážkovo normálna. Apríl bol v severných oblastiach Slovenska miestami až mimoriadne zrážkovo nadnormálny, na juhu normálny. Ostatné dva jarné mesiace boli zrážkovo v rámci normálu, pričom najmä na západe a juhozápade Slovenska sa v priebehu jari (ale aj v období od začiatku roka) zrážkový deficit postupne zvyšoval.

Celkový úhrn zrážok v lete 2017 bol územne značne rozdielny. Zatiaľ čo na prevažnej časti západného Slovenska (až po Žilinu a Martin) boli zrážky silne až mimoriadne podnormálne (miestami aj menej ako 60 % normálu), prevažná časť stredného a východného Slovenska mala zrážky v rámci normálu 1961–1990. Z letných mesiacov bol zrážkovo normálny júl, kedy v priemere na celé územie Slovenska spadlo 92 mm zrážok s prebytkom 2 mm. Ako jediný letný mesiac tak nebol zrážkovo deficitný. Suchý jún a august skončili s priemerným deficitom 21, resp. 15 mm.

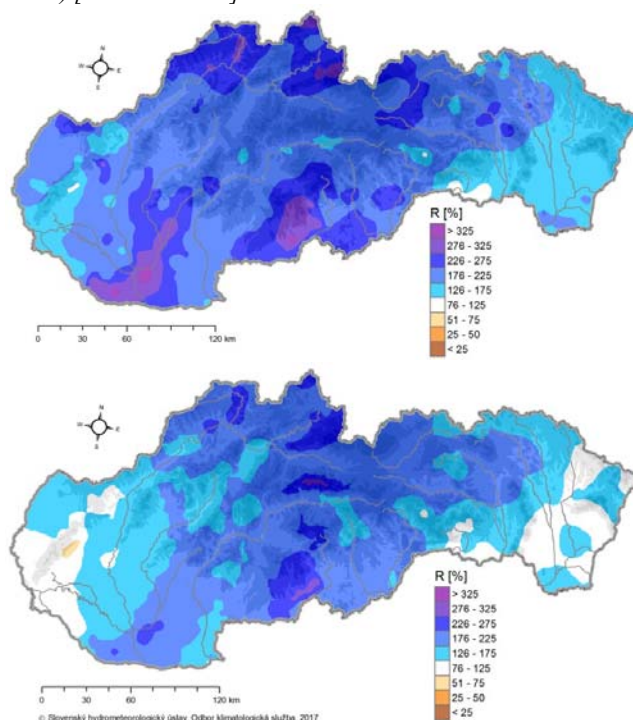
Jeseň 2017 ako celok bola na väčšine územia Slovenska zrážkovo nadnormálna, v niektorých oblastiach na severe (napr. Orava a Kysuce) až silne nadnormálna. Najvyšší priemerný prebytok zrážok mal september (61 mm), ďalšie jesenné mesiace 21, resp. 14 mm. [2].

Sucho na Slovensku v roku 2017

V období od začiatku hydrologického roka 2016/2017 do konca júna 2017 spadlo v oblasti západného Slovenska len 55 % priemerného množstva zrážok. Aj keď na ostatnom území Slovenska boli kumulatívne úhrny zrážok za obdobie od novembra 2016 do konca júna 2017 v rámci normálu (95–100 % normálu), takmer všetky mesiace v uvedenom období boli zrážkovo deficitné, s výnimkou apríla 2017 (na celom území) a mája a júna 2017 (na východe Slovenska). Veľký zrážkový deficit sme pritom zaznamenali už na konci decembra 2016 (na západe až –39 mm; 26 % normálu).

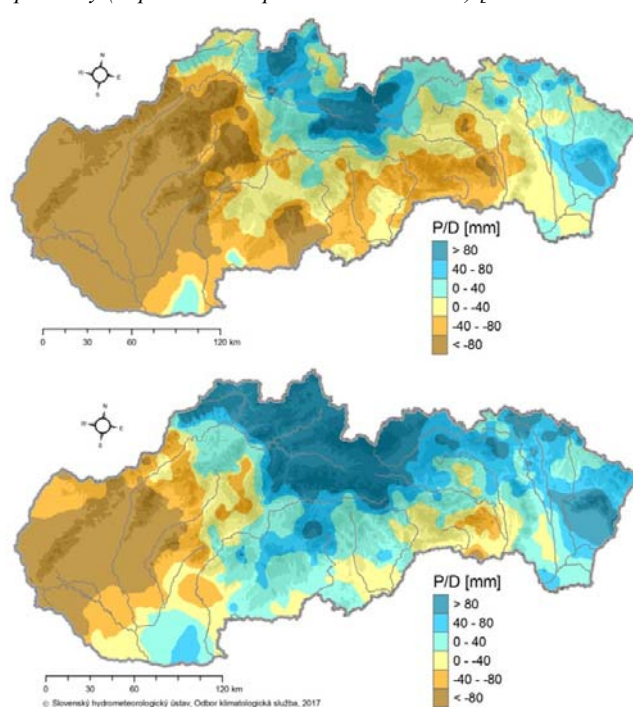
Obrázok 6. Mesačný úhrn atmosférických zrážok za september 2017 v mm v % normálu 1961–1990 (hore) a dlhodobého priemeru 1991–2015 (dole) [Zdroj: SHMÚ].

Figure 6. Monthly precipitation totals in September 2017 in per cent of normal 1961–1990 (top) and of long-term average 1991–2015 (bottom) [Source: SHMÚ].



Obrázok 7. Kumulatívne množstvo atmosférických zrážok vyjadrené prebytkom (+)/deficitom (–) zrážok za mesiace január až august (hore), resp. január až september 2017 (dolu) (v porovnaní s normálom 1961–1990) [Zdroj: SHMÚ].

Figure 7. The cumulative amount of atmospheric precipitation, expressed by the surplus (+) / deficit (–) of precipitation for the period from January to August (top), and January to September 2017 (bottom), respectively (in per cent compared to 1961–1990) [Source: SHMÚ].



V dôsledku na zrážky a snehovú pokrývku chudobnej zimy 2016/2017 deficit vlahy postupne narastal až do polovice apríla 2017. Vzhľadom na to, že výdatnejšie zrážky v apríli sa sústredili len v severnej polovici územia Slovenska, k zásadnému zmierneniu nedostatku zrážok na západe a juhozápade Slovenska nedošlo. Situáciu významne nezlepšili ani zrážky v priebehu mája a júna 2017, ktoré vypadávali prevažne vo forme privalových búrkových lejakov, aj to hlavne vo východných regiónoch Slovenska. V priebehu mája a júna preto došlo k ďalšiemu prehĺbovaniu deficitu vody v pôde a sucho zvýraznili aj nadnormálne vysoké teploty vzduchu. Podľa indexu sucha (SPEI), suché obdobie začalo už v polovici decembra 2016, kedy hodnoty SPEI indexu prvýkrát klesli pod hodnotu -1 . Na väčšine monitorovaných staníc, prevažne na západnom Slovensku, obdobie sucha skončilo vo februári, alebo v marci (región v okolí Topoľčian). V okolí Bratislavy však k žiadnemu prerušeniu suchého obdobia nedošlo. Plošne najrozsiahlejšie a zároveň najintenzívnejšie suché obdobie v roku 2017 začalo na Podunajskej nížine a Záhorí na konci mája 2017, pričom pokračovalo až do konca septembra. Len na niektorých staniciach došlo na prelome júla a augusta k jeho krátkemu a málo významnému prerušeniu. Na stanici Bratislava-letisko išlo tak o najdlhšie suché obdobie od roku 1981, pričom dosahovalo aj najvýraznejšiu mieru deficitu (vlahy) akumulovaného počas celého trvania.

Extrémne poveternostné javy na Slovensku

Dni s prudkým až búrlivým vetrom na Slovensku sa vyskytovali najmä v druhom polroku 2017, a to v dňoch 10.–11.8., 14.9., 29.10. a 11.–12.12.2017. Zosilnenie vetra bolo spôsobené prechodom hlbokých tlakových níží ponad severné Nemecko a Poľsko. Pri takejto situácii, dňa 29.10.2017, rýchlosť severozápadného vetra (v nárazoch) dosiahla v nižších polohách miestami 65 až 100 km.h⁻¹, na horách až do 162 km.h⁻¹ (Chopok). Priemerná rýchlosť vetra tak dosiahla silu prudkého až búrlivého vetra (50–70 km.h⁻¹). Maximálny náraz vetra v roku 2017 v obývaných častiach Slovenska bol zaznamenaný v noci z 11. na 12.12.2017 v Liesku, a to 36,3 m.s⁻¹ (131 km.h⁻¹). Na horách, na meteorologickej stanici Lomnický štít, bol zaznamenaný maximálny náraz vetra, 61,6 m.s⁻¹ (222 km.h⁻¹), dňa 24.2.2017. Bol tu tak prekonaný absolútny rekord maximálnej rýchlosti vetra aspoň od roku 1951. V teplom polroku sa silný vietor vyskytoval izolovane pri búrkach, napr. dňa 10.8.2017 v oblasti Záhoria a Bratislavy.

Prvý búrkový deň v roku 2017 bol zaznamenaný na našich meteorologických staniciach Košice, Michalovce, Slavošovce dňa 6.3.2017. Búrková sezóna sa však naplno rozvinula až na konci jari a potom hlavne v lete. Pozoruhodný bol aj pomerne vysoký počet prípadov, kedy búrky mali charakter tzv. supercel (najmä na východnom Slovensku). V roku 2017 sme na celom území Slovenska zaznamenali v mesiaci máj a jún až 22 dní s búrkovou činnosťou. V júli to bolo až 30 dní a v auguste 23 dní s búrkovou činnosťou zaznamenanou aspoň na jednej meteorologickej stanici. Posledný búrkový deň bol zaznamenaný na konci kalendárneho roka na staniciach Bratislava-Koliba, Komárno, Kráľova hoľa v noci z 28. na 29.12.2017.

Intenzívne zrážky sa vyskytli najmä pri búrkach. Najvyššia hodinová intenzita zrážok na staniciach SHMÚ bola zaznamenaná dňa 23.7.2017, v Tatranskej Javorine (54,5 mm.h⁻¹) a dňa 21.7.2017 v Strážskom (51,6 mm.h⁻¹). Najvyšší denný úhrn zrážok (za 24 hodín) bol zaznamenaný dňa 28.6.2017 vo Zvolene (85 mm). Úhrny zrážok nad 80 mm boli aj v Moldave nad Bodvou (28.6.2017, 81 mm), na Skalnatom plese (29.10.2017, 81 mm) a v Lip-tovskej Tepličke (19.8.2017, 81 mm).

Klimatické extrémny roka – mimoriadne vlhký apríl a september 2017

Apríl 2017 bol na severozápadnom a severnom Slovensku zrážkovo mimoriadne vlhký, dokonca v niektorých oblastiach Oravy, Kysúc a Turca bol vôbec najvlhší apríl od začiatku meteorologických meraní na Slovensku. Priemerný územný úhrn zrážok na Slovensku dosiahol v apríli 87 mm (158 % dlhodobého priemeru 1901–2000), pričom najvyšší územný priemer malo stredné Slovensko, a to až 126 mm (200 % DP). Vo vysokohorských polohách Vysokých a Nízkych Tatier, a tiež na Orave, boli však aj lokality, kde spadlo viac ako trojnásobné množstvo priemerného aprílového úhrnu zrážok (viac ako 300 % DP). Rekordne vysoké mesačné úhrny zrážok boli namerané v najvyšších polohách Tatier a Nízkych Tatier (Lomnický štít, 426 mm; Chopok, 266 mm). Na Lomnickom štíte bol napríklad prekonaný rekord z apríla 1994 s hodnotou 325 mm. Aprílové zrážkové rekordy boli zaznamenané napríklad aj v Lokci (187 mm), Námestove (142 mm), Bobrove (140 mm), Tvrdošine (157 mm), Dolnom Kubíne (158 mm), Vrútkach (147 mm) alebo Makove (183 mm). Najvýznamnejšia zrážková epizóda v apríli bola zaznamenaná v závere mesiaca, a to v dňoch 27.4. a 28.4., kedy v najviac exponovaných oblastiach (napr. severné svahy Nízkych Tatier) napršalo za dva dni aj viac ako 100 mm zrážok, pričom v najvyšších horských polohách výdatne snežilo (k 29.4. dosiahla celková výška snehovej pokrývky na Lomnickom štíte 303 cm – išlo o jej najvyššiu hodnotu v zimnej sezóne 2016/2017).

Veľmi výdatné celoplošné zrážky sa vyskytli aj v priebehu septembra 2017. Podľa priemerného územného úhrnu bol tento mesiac zrážkovo silne až mimoriadne nadnormálny (126 mm, 200 % dlhodobého priemeru 1901–2000). Najviac zrážok spadlo na strednom Slovensku, kde územný úhrn zrážok dosiahol 165 mm (229 % dlhodobého priemeru 1901–2000). Naopak najmenej zrážok spadlo na západnom Slovensku (95 mm; 179 %). Najvýznamnejšie zrážky sa v priebehu septembra vyskytli predovšetkým v druhej a na začiatku tretej septembrovej dekády, pričom v niektorých dňoch (napr. 12., 17. a 21.9.) dosiahli denné úhrny zrážok aj viac ako 40 mm, výnimočne aj viac ako 60 mm, predovšetkým v horských oblastiach stredného Slovenska. Analýza časového radu mesačného úhrnu zrážok v septembri ukázala, že v posledných približne 30 rokoch je nárast zrážok významne vyšší ako v iných mesiacoch roka, a to v podstate na celom území Slovenska, najviac však na západe. Oproti normálu 1961–1990 má obdobie 1991–2017 v septembri o približne 10 mm vyšší priemerný úhrn na území Slovenska. Aj keď v dôsledku septembrových výdatných zrážok došlo v niektorých regiónoch

stredného a východného Slovenska (ale napr. aj vo východnej časti Podunajskej nížiny) k významnému zmierneniu zrážkového deficitu, na prevažnej časti západného a juhozápadného Slovenska pretrvával výrazný deficit zrážok ešte aj na konci septembra 2017.

Literatúra

- [1] NOAA GlobalTemp: Smith, T.M.–Reynolds, R.W.–Peterson, T.C.–Lawrimore, J., 2008, *Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperatures analysis (1880–2006)*; *Journal of Climate*, 21, 2283–2296, doi:10.1175/2007JCLI2100.140.
- [2] NASA GISTEMP: GISTEMP Team, 2017: *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 2017-10-25 at <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>. Hansen, J.–Ruedy, R.–Sato, M.–Lo, K., 2010: *Global surface temperature change*, *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.42.
- [3] HadCRUT.4.6.0.0: Morice, C.P.–Kennedy, J.J.–Rayner, N.A.–Jones, P.D., 2012, *Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 dataset*, *J. Geophys. Res.*, 117, D08101, doi:10.1029/2011JD017187.41.
- [4] ERA-Interim: Dee, D.P.–Uppala, S.M.–Simmons, A.J.–Berrisford, P.–Poli, P.–Kobayashi, S.–Andrae, U.–Balmaseda, M.A.–Balsamo, G.–Bauer, P.–Bechtold, P.–Belljars, A.C.M.–van de Berg, L.–Bidlot, J.–Bormann, N.–Delsol, C.–Dragani, R.–Fuentes, M.–Geer, A.J.–Haimberger, L.–Healy, S.B.–Hersbach, H.–Hólm, E.V.–Isaksen, I.–Kållberg, P.–Köhler, M.–Matricardi, M.–McNally, A.P.–Monge-Sanz, B.M.–Morcrette, J.-J.–Park, B.-K.–Peubey, C.–de Rosnay, P.–Tavolato, C.–Thépaut, J.-N.–Vitart, F., 2011, *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137: 553–597. doi:10.1002/qj.828.
- [5] World Meteorological Organization, 2017, *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017*. Ref.: 39082/2017-1.3 CLW/DMA.
- [6] Mikulová, K.–Šťastný, P.–Bochníček, O.–Borsányi, P.–Čepčková, E.–Ondruška, P., 2015, *Klimatologické normály teploty vzduchu na Slovensku za obdobie 1961–1990*. NKP, 13-I/15, SHMÚ, Bratislava, 2015. 135 s. ISBN 978-80-88907-92-3.
- [7] Mikulová, K.–Šťastný, P.–Faško, P., 2015, *Klimatologické normály atmosférických zrážok na Slovensku za obdobie 1961–1990*. NKP, 13-II/15, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 2015. 640 s. ISBN 978-80-88907-93-0.

J. Pecho, O. Bochníček, P. Faško, G. Ivaňáková, P. Kajaba, L. Labudová, L. Markovič, K. Mikulová, P. Šťastný, M. Turňa
SHMÚ, Odbor Klimatologická služba, Bratislava

SLOVENSKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLOČNOSŤ PRI SAV – HISTÓRIA A SÚČASNOSŤ

Slovenská meteorologická spoločnosť je nástupníckou organizáciou Československej meteorologickej spoločnosti a jej pobočky pre Slovensko, ktorú v roku 1992 viedol RNDr. Albin Otruba, CSc. a po rozdelení ČSFR od 1. januára 1993 na samostatnú Českú republiku a Slovenskú

republiku sa predsedom už Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV stal Prof. RNDr. Milan Lapin, CSc.

Počas trvania spoločnosti sa na čele Hlavného výboru SMS vystriedali Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., RNDr. Miroslav Ondráš, CSc., RNDr. Pavel Šťastný, CSc. a RNDr. Vladimír Pastirčák. Košická pobočka SMS pracovala pod vedením Ing. Elemíra Dunajského, CSc. a RNDr. Gabriela Szabó, CSc. Banskobystrickú pobočku zase viedli RNDr. Zuzana Kolačná, Ing. Peter Borsányi, Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, RNDr. Štefan Soták, CSc., Mgr. Zora Snopková, PhD. a ďalší.

V roku 1997 sa Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV stala občianskym združením registrovaným na Ministerstve vnútra SR.

Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV je podľa platných stanov z roku 1994 „... dobrovoľné združenie vedeckých odborných a iných pracovníkov v meteorológii a klimatológii, prípadne v iných príbuzných disciplínach ...“. Rovnako podľa Stanov spoločnosti je poslaním SMS:

- rozširovať poznatky získané na poli vedeckého výskumu a získavať vedeckých pracovníkov k aktívnej spolupráci pre rozvoj a popularizáciu meteorológie a klimatológie na Slovensku,
- vytvárať predpoklady pre optimálny rozvoj meteorológie a klimatológie a jej spoločenského využitia v prospech rozvoja Slovenskej republiky,
- prispievať k zvyšovaniu odbornej úrovne svojich členov so zvláštnym zreteľom na mladých pracovníkov,
- propagovať výsledky meteorológie a klimatológie na medzinárodných fórach,
- svojim členom poskytovať pomoc pri vedeckej a odbornej práci,
- poriadať národné a medzinárodné konferencie, semináre, vedecké sympóziá, prednášky, diskusie a iné vhodné akcie,
- reprezentovať slovenskú vedu na medzinárodných fórach, pričom má právo samostatne vystupovať v zahraničných stykoch,
- vypisuje odborné a vedecké súťaže a oceňuje významné výsledky,
- rozvíja edičnú činnosť a publikačnú činnosť v odbore meteorológia a klimatológia,
- pri plnení svojich úloh spolupracovať s pracovníkmi SAV, vysokými školami, výskumnými pracoviskami, vedeckými ústavmi a podľa potreby aj ďalšími príbuznými organizáciami.

Najvyšším orgánom Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV je Valné zhromaždenie, výkonným orgánom je Hlavný výbor SMS, ktorý má v súčasnosti 6 členov (zvolení na poslednom Valnom zhromaždení SMS konanom 27.9.2017):

- RNDr. Paulína Valová, predseda
- Mgr. Jozef Pecho, podpredseda
- Doc. RNDr. Martin Gera, PhD., vedecký tajomník
- Mgr. Miriam Jarošová, PhD., hospodár
- RNDr. Martin Benko, PhD., člen
- RNDr. Gabriel Szabó, CSc., zástupca pobočky Košice

Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV je dlhoročným spoluorganizátorom Súťaže mladých odborníkov (meteorológov a klimatológov), ktorá sa koná každoročne v novembri na SHMÚ, taktiež sa podieľa spolu s SHMÚ na každoročnej oslave Svetového meteorologického dňa (23.3.) či Svetového dňa vody (22.3.) – spoluorganizuje odborný seminár k uvedeným dňom v Bratislave a Košiciach. Vo svojej histórii bola organizátorom aj iných odborných podujatí, kde sa stretávali odborníci z oblasti meteorológie, klimatológie, hydrológie, kvality ovzdušia a iných príbuzných odvetví, rovnako do roku 2009 vydávala Bulletin SMS pri SAV, kde sa odborne prezentovali členovia aj nečlenovia SMS.

V období 2009 až 2017 bola činnosť Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV utlmená, po poslednom riadnom Valnom zhromaždení SMS 27.9.2017 sa jej činnosť začína opäť pomaly obnovovať. Aktuálne má SMS 55 platiacich členov, od septembra 2017 sme získali 7 nových členov. Naopak, traja členovia SMS ukončili svoje členstvo na vlastnú žiadosť.

Od roku 2000 je Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV členom Európskej meteorologickej spoločnosti (EMS), čo je združenie meteorologických spoločností v Európe. Tvorí ju 37 členských spoločností a 32 pridružených členov. EMS je nezisková organizácia. Konferencie EMS priťahujú každoročne približne 600 ľudí zo všetkých sektorov. Odborníci sú odmeňovaní Európskou meteorologickou spoločnosťou za vynikajúce príspevky týkajúce sa vedy a jej aplikácie a mladí vedci sú podporovaní prostredníctvom cestovných grantov. Tohto roku sa bude konať Konferencia EMS v termíne 3. – 7.9.2018 v Budapešti, spoluorganizátorom Konferencie EMS v roku 2020 bude aj Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV – konferencia by sa mala konať 7. – 11.9.2020 na Ekonomickej univerzite v Bratislave.

V roku 2018 Slovenská meteorologická spoločnosť zorganizovala 2 odborné prednášky – 12.1.2018 sa konala odborná prednáška na tému *Asimilácia dát v modeloch*, prednášajúca Mgr. Mária Derková, PhD., z odboru Numerické predpovedné modely a metódy Centra predpovedí a výstrah SHMÚ Bratislava a dňa 15.2.2018 prednáška na tému *Na ceste k novej analýze zrážok*, prednášajúci Mgr. Ladislav Méri z odboru Dištančné merania SHMÚ, týkajúca sa radarových meraní a spracovania údajov z nich.

Ďalej SMS spoluorganizovala odborný seminár k Medzinárodnému meteorologickému dňu a Medzinárodnému dňu vody dňa 20.3.2018 v Košiciach a 22.3.2018 v Bratislave – obidva v priestoroch SHMÚ.

Pod patronátom SMS a jej členov (Mgr. L. Sokolová, T. Csörgei, Mgr. M. Šinger) začala 1.2.2018 svoju činnosť Fotogaléria SHMÚ, kde môžu odborníci aj laická verejnosť po zaregistrovaní zasielať fotografie na dokumentáciu nebezpečných meteorologických alebo hydrologických javov a ich následkov, prípadne oblačných štruktúr, ktoré sa pri danom jave vyskytli. Každý príspevok musí súvisieť s nebezpečným meteorologickým alebo hydrologickým javom.

SMS bola spolu s SHMÚ spoluorganizátorom medzinárodnej odbornej konferencie SIRWEC 2018 o cestnej meteorológii, ktorá sa konala v dňoch 29.5. – 1.6.2018 na zámku v Smoleniciach.

Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV chce tento rok spustiť samostatnú webovú stránku, kde budeme prezentovať svoje aktivity, budeme ponúkať možnosť prezentovať odborné práce členov aj nečlenov SMS, ako aj zverejňovať konané podujatia, ktoré budú súvisieť s meteorológiou, klimatológiou, hydrológiou, kvalitou ovzdušia a ďalšími príbuznými odbormi.

Paulína Valová
predsedníčka SMS pri SAV

SLUŽOBNÁ CESTA V ANTARKTÍDE

Na základe uzatvorenej Realizačnej dohody medzi Českým a Slovenským hydrometeorologickým ústavom mi bolo ako zamestnancovi SHMÚ umožnené zúčastniť sa pracovnej cesty na argentínsku stanicu Marambio v Antarktíde, ktorá sa nachádza na ostrove Seymour Island v oblasti Antarktického polostrova. Cieľom cesty bola kontrola a údržba Brewerovho ozonového spektrofotometra B199, ktorá sa vykonáva každoročne počas antarktického leta. Okrem údržby daného prístroja bola jedným z cieľov cesty aj výmena senzorov na automatickej meteorologickej stanici, prevádzkovej Masarykovou Univerzitou v Brne, ktorá sa nachádza v blízkosti stanice Marambio.

Český hydrometeorologický ústav od roku 2010 prevádzkuje v Antarktíde prístroj Brewerov ozonový spektrofotometer, ktorý tam v rámci vedeckého projektu vykonáva merania zamerané na monitoring ozónovej vrstvy Zeme a slnečného UV žiarenia. Projekt bol pôvodne plánovaný iba na päťročné obdobie, ale v roku 2015 bolo rozhodnuté o jeho predĺžení až do roku 2019. Brewerov ozonový spektrofotometer je prístroj, ktorý dokáže na základe spektrálnej analýzy slnečného žiarenia určiť celkové množstvo atmosférického ozónu vo vertikálnom stĺpci nad miestom merania. Okrem toho ďalej dokáže vykonávať aj merania vertikálneho profilu ozónu, tzv. Umkehr metódou. Spektrálne zloženie a hustotu toku slnečného UV žiarenia meria v oblasti vlnových dĺžok od 286,5 nm do 363 nm (UV-A a UV-B oblasť) s krokom 0,5 nm. Rovnaký prístroj od roku 1993 prevádzkuje aj SHMÚ na špecializovanej stanici v Gánovciach pri Poprade. Ide o jedinú stanicu s takýmito meraniami na území celej Slovenskej republiky.

Pracovisko v Gánovciach už viackrát organizovalo medzinárodnú kalibráciu Brewerových ozonových spektrofotometrov a práve počas poslednej z nich sa zrodil nápad novej spoločnej cesty do Antarktídy. Vďaka spolupráci medzi pracoviskami Solární a ozónová observatoň Hradec Králové a Aerologickým a radiačným centrom Gánovce sa nakoniec podarilo tento nápad zrealizovať. Služobná cesta sa uskutočnila od 22. januára do 6. februára 2018. Mojim spoločníkom bol Ing. Martin Staněk, ktorý zatiaľ nechýbal ani na jednej ceste do Antarktídy, tento rok ju navštívil už po deviaty krát. Je to odborník, ktorý sa významnou mierou spolupodieľa na kalibráciách a údržbe mnohých prístrojov po celom svete. Za zmienku určite stojí poznamenať, že v roku 2012 zorganizoval na stanici Marambio vôbec prvú priamu kalibráciu Brewerovho spektrofotometra v Antarktíde pomocou cestovného štandardu B017.

Samotný pobyt na stanici Marambio trval len 3 dni. Oveľa väčšia časť služobnej cesty bola spojená s cestovaním, prípadne s čakaním na ďalší presun. Priama vzdialenosť vzdušnou čiarou medzi Slovenskom a ostrovom Seymour Island je približne 14 tisíc kilometrov. V skutočnosti ale bolo potrebné prekonať ešte o niečo väčšiu vzdialenosť. Z miesta bydliska, z Košíc, som najskôr išiel vlakom do Prahy, potom už následne letecky do Frankfurtu. Časovo najdlhší presun, takmer 14 hodín bol prekonaný priamym leteckým spojením medzi Frankfurtom a Buenos Aires. Po únavnom nočnom lete nás v hlavnom meste Argentíny čakalo príjemné letné počasie. Nasledujúci let sme mali až večer. Bol ale potrebný presun na vnútroštátne letisko. Voľný čas sme využili na krátku obhliadku mesta. Pomocnú ruku nám podala česká ambasáda, na ktorej sme si mohli odložiť batožinu, pretože vláčiť sa s ňou po meste by určite nebolo nič príjemné. Jeden pracovník ambasády si najskôr myslel, že ideme z Rallye Dakar...

Ďalší let sme absolvovali medzi Buenos Aires a patagónskym mestom Rio Gallegos na juhu Argentíny. Logisticky najzložitejšia časť cesty bola stále ešte len pred nami. Je to letecká preprava z juhu Argentíny, z mesta Rio Gallegos na stanicu Marambio. Zabezpečujú ju Vzdušné sily Argentíny pomocou vojenského lietadla typu Herkules, ktorého let závisí od viacerých podmienok (počasie, technický stav, priority argentínskej armády a iné). Pobyt na stanici Marambio sa preto musel prispôbiť daným podmienkam a vzhľadom na vyskytnuté okolnosti trval iba 3 dni. Niekoľkodňové čakanie v Patagónii sme strávili v jednoduchej vojenskej ubytovni, nedočkavo čakajúc na najbližší vojenský let. Do Antarktídy sme po zhruba trojhodinovom lete nakoniec prišli v stredu 31. januára. Privítalo nás ukázkové antarktické počasie. Teplota síce nebola príliš nízka, bolo iba pár stupňov pod nulou, na druhej strane fúkal studený vietor južných smerov, takže pohyb bol dosť náročný.

Base Marambio, je oficiálny názov jednej z trinástich argentínskych výskumných staníc v Antarktíde. Je to hlavná argentínska základňa v Antarktíde s celoročnou prevádzkou. Založená bola už v roku 1969. Ide o pomerne veľkú základňu s plochou vnútorných priestorov približne 2 ha. Nachádza sa v nadmorskej výške 196 m n. m. v nie príliš členitých vrcholových častiach ostrova, čo umožnilo výstavbu stanice aj s potrebnou leteckou dráhou. V letných mesiacoch sa na Marambiu vyskytuje okolo 150 ľudí, v zimných okolo 50. Vedeckí pracovníci tvoria menšinu, väčšinou ide o personál, ktorý zabezpečuje chod základne a o vojakov argentínskej armády. Hlavný personál sa strieda v ročných turnusoch.

Po prilete v stredu popoludní, sme mali informácie, že ďalší spiatočný let je plánovaný už o dva dni, teda hneď v piatok. Na prácu sme preto mali veľmi málo času, dokonca reálne hrozilo, že vôbec nestihneme vymeniť senzory na meteorologickej stanici pri pobreží. Vynechať najbližší let by znamenalo stráviť na Marambiu asi dva týždne, možno aj viac, čo bolo ťažko predstaviteľné a preto všetka snaha

smerovala k tomu aby sme mohli odletieť čo najskôr naspäť do Argentíny. V deň plánovaného odletu sme sa ale nakoniec dozvedeli, že kvôli poruche lietadla, v našom prípade vďaka poruche, je ďalší let presunutý o deň neskôr. To nám významne pomohlo a stihli sme nakoniec vymeniť aj senzory na meteorologickej stanici pri pobreží a vykonať všetko podstatné na zabezpečenie prevádzky Brewerovho spektrofotometra počas ďalšieho roka v Antarktíde. Samotná údržba prístroja spočívala v jednotlivých krokoch, ktoré je možné rozdeliť do troch častí: technická údržba, softvérová údržba a prístrojové testy.

Škoda, že sme na stanici Marambio nemohli zostať o dva, tri dni dlhšie, to by bolo ideálne. Určite by som rád viacej spoznal miestnu prírodu. Aspoň akú-takú príležitosť som mal počas cesty k meteorologickej stanici pri pobreží. Na pobreží sa na viacerých miestach vyskytovali ľadové kryhy, no ja by som však rád videl aj tučniakov a nie iba kryhy. Už som sa pomaly zmieroval s tým, že ich neuvidím, ale nakoniec predsa len počas spiatočnej cesty som zazrel jedno osamotené mláďa. Ktovie, možno zablúdilo práve kvôli mne. Na samotnom ostrove sa nevyskytoval žiaden ľadovec. Ak nerátam sneh, tak jeho povrch bol pokrytý väčšinou štrkom, zloženým z rôznych druhov hornín. Nebol vôbec žiaden problém natrafiť na skameneliny morských lastúrníkov. Dokonca jedny som našiel aj vo výške asi 100 metrov nad morom. Kedy tak asi vyšli z vody a ako?

Na záver môjho príspevku by som sa rád poďakoval všetkým ľuďom, vďaka ktorým som mohol absolvovať služobnú cestu do Antarktídy. Takáto služobná cesta je v podmienkach SHMÚ naozaj výnimočná. Moja vďaka patrí predovšetkým Ing. Martinovi Staněkovi, za ponuku byť jeho pomocníkom pri zabezpečení tohtoročnej údržby Brewerovho spektrofotometra na stanici Marambio. Ešte sa chcem poďakovať aj všetkým ďalším pracovníkom ČHMÚ a SHMÚ, ktorí sa spolupodieľali na vytvorení Realizačnej dohody a organizácii cesty. Tu patrí moja vďaka hlavne RNDr. Ladislavovi Metelkovi, PhD., ale taktiež aj vedeniu SHMÚ zo to, že mi takúto služobnú cestu umožnili vykonať.

*Peter Hrabčák
SHMÚ, Gánovce*



SEMINÁR „MONITORING SUCHA A JEHO DOPADOV“ V RÁMCI PROJEKTU DRIDANUBE

Slovenský hydrometeorologický ústav spolu so Slovenskou poľnohospodárskou a potravinárskou komorou zorganizovali seminár pod názvom Monitoring sucha a jeho dopadov. Podujatie sa uskutočnilo dňa 22.2.2018 vo Zvolene. Seminár patril medzi dôležité podujatia v rámci projektu DriDanube – „Riziko sucha v dunajskom regióne“. Tento medzinárodný projekt, o ktorom sme písali v Meteorologickom časopise, v čísle 2 z roku 2017, úspešne pokračuje druhým rokom s plánovaným ukončením v júni 2019. Projekt podporuje Dunajský nadnárodný program a spolupracuje na ňom 15 inštitúcií z desiatich krajín, pod vedením Slovenskej agentúry životného prostredia. Viac informácií o projekte nájdete na <http://www.interreg-danube.eu/dridanube>.

Seminár mal za úlohu predstaviť poľnohospodárom, ovocinárom a lesníkom dva prístupy k hodnoteniu sucha. Prvým z nich je monitoring sucha, ktorý za pomoci zložitých modelovacích nástrojov, využívajúcich namerané meteorologické prvky, stanovuje intenzitu atmosférického a pôdneho sucha. Druhý prístup, zohľadňujúci realitu priamo v teréne, je monitoring dopadov sucha. Ak je vykonávaný dôsledne a pravidelne, a zároveň na reprezentatívnych miestach daného územia, môžu byť údaje z neho použité ako dôležité podklady pre rozhodovacie procesy v manažmente sucha. Zároveň môžu slúžiť na kalibráciu spomínaných modelov sucha. Tento monitoring dopadov sucha má za úlohu nájsť, osloviť, motivovať a udržať tzv. reportérov dopadov sucha, ktorých pravidelnou náplňou práce je zasielanie vyplnených dotazníkov. Dotazník obsahuje ciele otázky, na ktoré reportér – odborný hodnotiteľ, odpovedá pomocou jednoduchej škály. Tento postup umožňuje rýchle, a zároveň dostatočne presné vyhodnotenie dopadov sucha napr. na poľnohospodársku výrobu na farme, v sade alebo určitom katastrálnom území.

Slovenský hydrometeorologický ústav je garantom monitoringu sucha na Slovensku. Od minulého roka môžu užívatelia na stránke www.intersucho.sk nájsť výsledky monitoringu ako aj hodnotenie dopadov sucha. Informácie sú aktualizované každý týždeň. Na stránke sú uverejňované historické prehľady, aktuálny priebeh sucha ako aj výhľad na nasledujúcich 9 dní dopredu. SHMÚ sa snaží získať reprezentatívnu, odborne fundovanú skupinu reportérov, ktorí by pokrývali rovnomerne celé územie Slovenska, pričom by zastupovali poľnohospodárstvo, ovocinárstvo, vinárstvo a lesníctvo. Veľmi dôležitou a cennou je napríklad spolupráca s ÚKSÚP-om. O dopadoch sucha sa reportuje priamo z jeho skúšobných staníc. Tieto pracoviská sú vybavené primerane personálne aj technicky, a sú lokalizované vo všetkých pestovateľských oblastiach, pričom dodržiavajú štandardné pestovateľské podmienky.

Ďalšou úlohou predmetného seminára bolo, v spolupráci so Slovenskou poľnohospodárskou a potravinárskou komorou, osloviť komunitu poľnohospodárov, ovocinárov a lesníkov, s cieľom získať nových reportérov dopadu sucha na Slovensku. To by malo pomôcť k naplneniu cieľov projektu DriDanube, no najmä k lepšiemu zvládnutiu manažmentu poľnohospodárskeho sucha na Slovensku. Na

konci apríla 2018 eviduje SHMÚ 57 aktívnych reportérov z 34 okresov Slovenska, z toho je 32 poľnohospodárov, 12 vinohradníkov a ovocinárov a 13 lesníkov.

*Pavel Šťastný
SHMÚ, Bratislava*

AKTIVITY V RÁMCI EMEP/CLRTAP/EHK OSN V ROKU 2017

EMEP Task Force on Measurements and Modelling

Účelom pracovnej cesty, ako národného experta EMEP pre merania, bola účasť na stretnutí pracovnej skupiny pre meranie a modelovanie (Task Force on Measurement and Modelling - TFMM). EMEP TFMM patrí pod Dohovor EHK OSN o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcim hranicami štátov (CLRTAP UN ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution). SHMÚ, Odbor monitorovania kvality ovzdušia (OMCO), vykonáva činnosti, ktoré vyplývajú z Dohovoru hlavne pre oblasť emisií a monitorovania kvality ovzdušia na požadovej úrovni.

EMEP TFMM sa konal v Prahe, v Českej republike, v dňoch 2.–5.5. 2017, v budove Českej akadémie vied. Organizátorom bolo CCC Chemical Coordinating Centre EMEP – Chemické koordinačné centrum EMEP a EMEP MSC W – EMEP Meteorologické syntetizujúce centrum západ, v spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavom. Agenda TFMM a Report z priebehu zasadania je zverejnený na internete pod www.emep.int. V rámci EMEP modelárskych aktivít a národných prezentácií odzneli príspevky z EMEP MSC W, EMEP MSC E, z inštitúcií NRI, IGCE, INERIS a CEH. Príspevky o modelovacích aktivitách, zamerané na trendové analýzy (1990–2010) boli prezentované pre ozón, PM (particulate matter), depozíciu síry a dusíka, BaP (benzo-a-pyrén) a ťažké kovy. Čo sa týka monitorovacích aktivít EMEP, bola diskutovaná kvalita údajov, neistoty merania a terénne blanky. V rámci národných prezentácií a medzinárodných organizácií pre oblasť monitorovania odzneli príspevky o monitorovaní na observatóriu v Košeticich, o GAW sympóziu, o hodnotení monitorovania kyslej depozície 2000–2014 vo východnej Ázii, o dlhodobých meraniach Marga na stanici Melpitz, o trendoch etánu a propánu vo Veľkej Británii, o vysokom ozóne a epizódach ultra jemných častíc PM v Madride. Na záver bola otvorená diskusia o monitorovaní, vrátane revidovania monitorovacej stratégie a terénnych európskych kampaní. Posledný deň workshopu bol venovaný prezentáciám Bieloruska o formaldehyde v priemyselných zónach, NERC CEH-u z Veľkej Británie o kvantifikácii znečistenia dusíkom oproti meraniam, o meraní organického a elementárneho uhlíka v monitorovacej sieti, o pridanej hodnote dvoch super staníc na regionálnej/mestskej úrovni k transhraničnému znečisteniu. Záver bol venovaný revízii pracovného plánu a revidovanému mandátu TFMM.

Prínos pre SHMÚ: OMKO sa podieľa na EMEP monitorovacích aktivitách od roku 1978/9 v súlade s EMEP európskou monitorovacou stratégiou a pracovným plánom. Do európskej monitorovacej siete sú zaradené 4 EMEP požadové stanice SR, na ktorých sa monitorujú vybrané komponenty ovzdušia a zrážok. Na vyššie uvedených sta-

niciach sa viackrát realizovali aj európske kampaňovité terénne merania, naposledy pred necelým rokom, v roku 2016 na POP (perzistentné organické polutanty) na Chopku a na Starine, predtým na ŤK (ťažké kovy) a EC/OC (elementárny/organický uhlík) na Starine. Tieto merania slúžia spolu s ďalšími podobnými v Európe pre stratégiu európskeho monitorovania.

Zasadanie Steering Body EMEP

Účelom pracovnej cesty bola účasť na Zasadnutí Riadiaceho orgánu (SB-Steering Body) Kooperatívneho programu pre monitorovanie a hodnotenie diaľkového prenosu znečistenia ovzdušia v Európe (EMEP). EMEP je súčasťou Dohovoru EHK OSN z roku 1979 o diaľkovom prenose znečistenia ovzdušia prechádzajúcim hranicami štátov (UN ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution – CLRTAP). Zasadanie SB EMEP a WG E sa konalo 10. – 15. 9. 2017 v Paláci Národov EHK OSN, v Ženeve. Agenda zasadania SB EMEP aj zasadania WG E je na www.emep.int. Spoločné zasadanie SB EMEP a WG E sa konalo tretí rok, dovtedy SB EMEP aj WG E mali zasadania samostatne. Na spoločnom pracovnom stretnutí bolo prítomných 89 účastníkov z 29 európskych krajín, ktoré pristúpili k Dohovoru (LRTAP) a z medzinárodných organizácií: EÚ/EC, 5 EMEP centier: MSC W, MSC E, CCC, CIAM a CEIP; CCE, EEA, WMO, UNEP, UN ECE, WHO.

Prvé dva dni zasadania boli zamerané na progres v činnostiach WG E v roku 2017 a ich ďalší vývoj, na obnovenie mandátu pre centrá a TF, finančné a rozpočtové záležitosti WGE, prijatie reportu z predchádzajúceho spoločného zasadania, záležitosti z mítingov EB a k nemu patriacich orgánov a činností SB a WG E. Koncom druhého dňa a ďalší deň bol na programe Návrh pracovného plánu 2018–2019 pre implementáciu Dohovoru (CLRTAP) v rámci WGE a v rámci EMEP (vedecká časť). Pri návrhu pracovného plánu 2018–2019 pre implementáciu Dohovoru odzneli prezentácie účastníkov „ad hoc policy review“ skupiny odborníkov a potom bola diskusia s doporučeniami. V rámci spoločného tematického zasadania SB a WGE sa preberalo znečistenie ovzdušia od hemisférického po lokálne a dlhodobé monitorovanie ekosystémov. V rámci EMEP bol na programe progres v činnostiach integrovaného hodnotenia modelovania, merania, modelovania, progres v emisných inventúrach a iných záležitostiach, týkajúcich sa emisií. Predstaviťka EMEP centra CEIP informovala SB a stave reportovania emisií a kvalite údajov jednotlivých krajín. Momentálne reportuje emisie 45 krajín a 34 z toho aj BC (black carbon). Medzi krajinami, ktoré reportujú emisie vzorne, bola menovaná aj SR. Posledný deň zasadania sa diskutovalo o obnovení mandátov pre centrá a pracovné skupiny EMEP, o návrhu pracovného plánu 2018–2019 pre implementáciu Dohovoru v rámci EMEP, o finančných a rozpočtových záležitostiach. Na základe diskusií, komentárov a pripomienok reprezentantov jednotlivých krajín, pracovných skupín aj centier sa pracovný plán bude modifikovať a potom predkladať na zasadanie EB (Executive Body) v decembri 2017.

WG E je zameraná na monitorovanie účinkov na životné prostredie, zdravie človeka a materiály a chce rozvíjať spoluprácu s SB, pretože modelovanie a monitorovanie

kvality ovzdušia sú zásadné pre revíziu Protokolov a hodnotenie zlepšenia životného prostredia, zdravia človeka a materiálov, pre rozvoj implementácie a hodnotenia úspechov európskej legislatívy ako aj úspechov implementácie iných politík na národnej a medzinárodnej úrovni.

Report zo spoločného zasadania SB a WGE bude dostupný pod <http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>. Na tejto stránke sú zverejnené všetky informácie v súvislosti s Joint session SB a WGE, program zasadania, oficiálne dokumenty, neformálne dokumenty, prezentácie, ktoré na zasadnutí odzneli a zoznam účastníkov.

Marta Mitošinková
SHMÚ, Bratislava

MEDZINÁRODNÉ AKTIVITY ODBORU EMISIE A BIOPALIVÁ

Stretnutie skupiny expertov pre riešenie otázok v oblasti rámca transparentnosti reportovania údajov o emisiách a zmene klímy

Jednou z menej známych aktivít, patriacich do kompetencie SHMÚ, je aj priame zapájanie sa pracovníkov Odboru Emisie a biopalivá do medzinárodných expertných pracovných skupín, v rámci Európskej únie, na presadzovanie záujmov Slovenskej republiky pri uplatňovaní environmentálnych politík. Jednou z nich je aj skupina expertov pre riešenie otázok v oblasti rámca transparentnosti, zložená zo zástupcov jednotlivých členských štátov EÚ, vedená vždy predsedníckym štátom Rady Európy. V prvom polroku 2018 je to Bulharsko (BG PRES). Prvé rokovanie v Sofii pod BG PRES bolo venované diskusii k správne prechodu na systém transparentného reportovania emisií skleníkových plynov pod Parížskou dohodou, ktorá by mala začať platiť od roku 2020.

Stretnutie vedúcich revízorov pre národné inventarizačné správy pod Rámcovým dohovorom OSN pre zmenu klímy (UNFCCC)

V poradí už 15. stretnutie vedúcich revízorov sa koná pravidelne začiatkom roka v Bonne, sídle sekretariátu UNFCCC. Účasť za Slovensko na pozvanie zastrešujem od roku 2008, po úspešnom zložení skúšok a absolvovaní viacerých úspešných revízijských kontrol strán dohovoru UNFCCC (napríklad Taliansko, Litva, Luxembursko alebo Bulharsko). Nadväzujúcim stretnutím na stretnutie vedúcich revízorov národných inventarizačných správ je stretnutie na rovnakej úrovni pre revízorov národných komunikácií a dvojročných správ, ktorého sa za Slovensko zúčastňuje p. G. Fischerová, generálna riaditeľka Sekcie ochrany ovzdušia a zmeny klímy. V súčasnosti sa pripravujeme na revíziu Siedmej národnej správy a Tretej dvojročnej správy Slovenskej republiky o zmene klímy a niektoré informácie zo stretnutia by nám mohli pomôcť zvládnuť jednoduchšie revíziu, a do budúcnosti sa vyhnúť niektorým opakujúcim sa chybám pri príprave národných komunikácií a dvojročných správ. Je potrebné zapojiť do procesu aj ostatných odborníkov z SHMÚ a MŽP SR.

Janka Szemesová, SHMÚ, Bratislava

SEMINÁR PRI PRÍLEŽITOSTI SVETOVÉHO METEOROLOGICKÉHO DŇA A SVETOVÉHO DŇA VODY

Pri príležitosti Svetového meteorologického dňa a Svetového dňa vody SHMÚ každoročne organizuje pod záštitou Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV odborný seminár. Tohtoročný sa konal 22. marca a bol už 22. v poradí. Na seminári boli pracovníkmi SHMÚ prezentované nasledovné odborné príspevky:

- Mgr. Martin Belluš:
Prediktabilita a ansámblová predpoveď počasia
- Mgr. Lívia Labudová, PhD., Mgr. Maroš Turňa:
Sucho v roku 2017 z hľadiska pravidelného monitoringu sucha
- Mgr. Kateřina Hrušková, PhD., RNDr. Daniela Kyselová: *Sneh v operatívnej hydrológii*
- Mgr. Cyril Siman:
Meteorologické výstrahy na SHMÚ
- Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Martina Dadová, Mgr. Andrea Ľuptáková, Ing. Jaroslava Urbancová:
Kvalita podzemných vôd v Slovenskej republike v roku 2016
- Mgr. Jozef Pecho: *Čaká svet v 21. storočí náhla klimatická zmena? (Podtitul: Klimatické zmeny v minulosti, súčasnosti a budúcnosti)*

Ivan Garčár
SHMÚ, Bratislava

25. ROČNÍK DŇA OTVORENÝCH DVERÍ NA SHMÚ

Slovenský hydrometeorologický ústav pripravil 23. a 24. marca tohto roku prezentačné podujatie, 25. ročník Dňa otvorených dverí. Pravidelne ho na SHMÚ organizujú pri príležitosti Svetového dňa vody (22.3.) a Svetového meteorologického dňa (23.3.). Organizátori si kládli za cieľ zlepšiť povedomie verejnosti o práci SHMÚ, zvýšiť návštevnosť webovej stránky, priťahovať deti a mládež k témam, ktoré súvisia s činnosťou a zameraním SHMÚ, a to hľadaním alternatív, ktoré majú ukázať činnosti SHMÚ novým, zaujímavým spôsobom. Myšlienka zaujala nielen rodičov, ale tiež pedagógov. V Košiciach prišlo na regionálne pracovisko viac ako 450 žiakov základných škôl a v Bratislave zaevidovali viac ako 1300 návštevníkov. V regionálnych pracoviskách a meteorologických staniách ďalších 1500.

Prvýkrát v rámci DOD deťom ponúkli zaujímavé atrakcie – divadelné predstavenie, balónovú šou,

maľovanie na tvár a podobne. Organizátori však nezostali nič dlžní ani verejnosti, ktorá prejavila záujem o odborné informácie. Aj preto pripravili prednášky pod názvom Ak chcem vedieť informácie o počasi – ako sa orientovať na webstránke SHMÚ, Oblačné štruktúry búrok, Radiačný monitoring, Letecká meteorológia - dôležitá súčasť leteckej dopravy a Kvalita ovzdušia.

Už tradične sa veľkému záujmu návštevníkov tešili meteorológovia, ktorí čelili záplavám otázok, ale aj pracovníci úseku Hydrologická služba. Témy, ako meriame vodu v potokoch a vo veľkých tokoch, Zaujímavé informácie o slovenských tokoch a prameňoch, Akú máme vodu pod zemou a Čo všetko žije v našich tokoch a prameňoch zaujali všetky vekové kategórie návštevníkov. Podľa slov Jany Poórovej, riaditeľky úseku hydrologická služba, „záujem návštevníkov DOD o informácie z monitorovania kvality a kvantity povrchových tokov, a tiež kvality podzemných vôd každoročne narastá. Vidíme v tom evidentný dôkaz toho, že téma vody už nie ľahostajnou, ale že si začíname uvedomovať naliehavosť a dôležitosť ochrany tokov, podzemných vôd a prameňov na Slovensku. Informácie o kvalite a kvantite našich vôd pomáhajú nielen v poznaní ich aktuálneho stavu, ale aj v schopnosti prispôbiť náš prístup k nim.“

Tohtoročný DOD sa organizátori rozhodli orientovať nielen na odbornú a laickú verejnosť, ale najmä na deti a mládež. Program prispôbili tak, aby na podujatie prilákali rodiny s deťmi. Podľa slov generálneho riaditeľa SHMÚ Martina Benka, „najmä v mladej generácii sme chceli podnietiť záujem o štúdium matematiky, fyziky, meteorológie alebo hydrológie. V tejto súvislosti sme vyhlásili súťaž o najkrajšiu fotografiu na tému Voda v našej prírode. Bola určená pre žiakov základných a stredných škôl a stretla sa s mimoriadnym záujmom. Takmer 850 účastníkov nám zaslalo viac ako 1600 fotografií,“ dodal. M. Benko.

Ivan Garčár, SHMÚ, Bratislava



PERSONÁLIE

PERSONALS

OPUSTIL NÁS

Prof. RNDr. JÁN TOMLAIN, DrSc.

Väčšina meteorológov, klimatológov, hydrológov ale aj pracovníkov kvality ovzdušia a vôd v strednom a staršom veku sa počas svojho profesionálneho pôsobenia stretla pri rôznych príležitostiach s Prof. Tomlainom. Mohli sme sa pritom presvedčiť nielen o jeho rozsiahlych znalostiach z daných odborov ale aj o ochote pomôcť v prípade riešenia zložitých odborných problémov.

Prof. Tomlain sa narodil v Muránskej Hute 2.4.1932, mal brata Milana, ktorý už nežije a sestru Máriu. Gymnázium absolvoval v Revúcej a Košiciach, kde aj maturoval. Fyziku a neskôr špecializáciu meteorológia a klimatológia študoval v rokoch 1951–1956 na Prírodovedeckej fakulte UK. Po 2-ročnom učiteľskom pôsobení pracoval od roku 1958 stále na pracovisku meteorológie a klimatológie Univerzity Komenského (najprv na PríF, neskôr na Matematicko-fyzikálnej (MFF) fakulte a nakoniec na FMFI UK). V roku 1966 sa oženil, má dve deti, Andreu a Radomíra a vnuka Lukáša. Bol aj riaditeľom Ústavu meteorológie a klimatológie PríF UK a MFF UK v rokoch 1970–1981, vedúcim Katedry meteorológie a klimatológie MFF UK v rokoch 1989–1990, prodekanom PríF UK a vedúcim sekcie fyziky na PríF UK v rokoch 1970–1973. Medzitým absolvoval študijný pobyt v Petrohrade, v rokoch 1961–1963, a v Kanade, v rokoch 1967–1968. Docentom bol od roku 1966, profesorom fyziky od roku 1973 a doktorom matematicko-fyzikálnych vied od roku 1980. V roku 2004 ukončil plný pracovný pomer na FMFI UK a odvtedy bol emeritným profesorom.

Prof. Tomlain má v evidencii EVIPUB UK asi 120 publikovaných prác od roku 1964, medzi nimi niekoľko zahraničných publikácií, monografií a učebníc. Získal viacero významných ocenení, napríklad: zlatú a striebornú medailu PríF UK, zlatú a striebornú medailu FMFI UK, pamätne medaily k 60. a 80. výročiu založenia UK, striebornú medailu PríF MU v Brne, striebornú medailu Mendelovej ZaL Univerzity v Brne, striebornú medailu FZKI Poľnohospodárskej univerzity v Nitre a cenu rektora Poľnohospodárskej univerzity v Nitre, striebornú medailu

SHMÚ, striebornú medailu ČHMÚ Praha, pamätnú medailu k 50. výročiu založenia Hydrometeorologickej služby Ruska a rad ďalších. Prof. Tomlain bol tiež členom viacerých vedeckých a redakčných rád, medzi nimi aj redakčnej rady svetovo uznávaného časopisu *Boundary Layer Meteorology*, Dordrecht, Holandsko a *Studia Geophysica et Geodaetica*, Praha. Bol tiež členom viacerých vedeckých spoločností (zvlášť aktívny bol v Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti) a riešiteľom mnohých výskumných projektov, medzi nimi aj East Slopes Watershed Research Program, Kanada (1967–1968) a US Country Studies Program, USA-Slovakia (1994–1997).

Prof. Tomlain viedol mnoho študentov v rámci diplomových a dizertačných prác, presadzoval fyzikálne metódy v meteorológii a klimatológii, jeho ústrednou témou bolo modelovanie prvkov radiačnej, energetickej a vlhovej bilancie krajiny. Mohol by som vymenovať desiatky rôznych podujatí i jednorázových akcií, ktoré on organizačne viedol alebo ktoré prispeli k tomu, že sa slovenská hydrologia, meteorológia, klimatológia a ochrana životného prostredia stali celospoločensky uznávanými disciplínami.

S prof. Tomlainom sme sa v Krematóriu v Bratislave rozlúčili 5. apríla 2018, teda krátko po jeho nedožitých 86. narodeninách. Česť Jeho pamiatke!

*Milan Lapin
FMFI, UK, Bratislava*

Prof. RNDr. MILAN LAPIN, PhD. SEDEMDESIATROČNÝ

Počas mája 2018, v dobrej kondícii a plnom pracovnom nasadení, oslávil svoje 70 životné jubileum významný slovenský klimatológ a meteorológ prof. RNDr. Milan Lapin, PhD.

Narodil sa 14. mája 1948 v Širkovciach, okres Rimavská Sobota, v rodine skúseného ovocinára. Po maturite na Gymnázium v Rimavskej Sobote v roku 1966 študoval na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave, odbor fyzika so zameraním na meteorológiu a klimatológiu. Diplomová práca mala názov: „Pokus o objektívnu predpoveď trvalých zrážok“. Po ukončení vysokej školy v roku 1971 nastúpil

v auguste na SHMÚ. V septembri toho istého roku bol po-volaný na základnú vojenskú prezenčnú službu (1971–72), ktorú absolvoval ako podporučík na Hlavnom ústredí armádnej poveternostnej služby v Prahe-Karlíne, kde pracoval ako synoptický meteorológ.

Po skončení základnej vojenskej služby nastúpil do výskumného oddelenia Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. V rokoch 1974 až 1979 pôsobil na oddelení aplikovanej klimatológie SHMÚ v Košiciach.

V roku 1977 získal titul RNDr. V rokoch 1979 až 1985 zastával funkciu vedúceho odboru technickej klimatológie na SHMÚ v Bratislave. Vedeckú aspirantúru obhájil v roku 1982 na Matematicko-fyzikálnej fakulte UK v Bratislave v odbore fyzika, špecializácia meteorológia a klimatológia, s prácou „Mezoklimatický výskum Východoslovenskej nížiny“. V období 1985 až 1992 zastával funkciu vedúceho odboru aplikovanej klimatológie. V roku 1988 mu bol priznaný vedecký kvalifikačný stupeň IIa – samostatný vedecký pracovník. Od roku 1992 bol na SHMÚ zaradený ako samostatný vedecký pracovník špecialista pre klimatológiu.

V septembri roku 1996 začal pôsobiť na Univerzite Komenského na Matematicko-fyzikálnej fakulte v Bratislave, kde pracuje až dodnes. V rokoch 1996 až 2002 zastával funkciu vedúceho Katedry meteorológie a klimatológie. V roku 1999 získal aj pedagogický titul docent. V roku 2005 sa stal profesorom v odbore fyzika a vedúcim Oddelenia meteorológie a klimatológie na Katedre astronómie, fyziky Zeme a meteorológie. Jeho inauguračná prednáška mala názov „Fyzika klimatického systému Zeme – regionálne špecifiká v strednej Európe“.

Vo vedecko-výskumnej činnosti sa zaoberá najmä problematikou evapotranspirácie, atmosférických zrážok, zmien a premenlivosti klímy, vplyvom klimatických zmien na rôzne socio-ekonomické sektory, scenáři zmeny klímy do roku 2100 a regionálnou interpretáciou výstupov globálnych modelov cirkulácie atmosféry pre SR.

Patril medzi iniciátorov založenia Národného klimatického programu Československa (od 1. 1. 1991), v období 1993–2001 bol predsedom Národného klimatického programu (NKP) Slovenska a koordinátorom projektu NKP SR, v rokoch 1994–1997 koordinátorom Elementu 2 v projekte US Country Studies za SR. Pôsobil v IPCC za Slovensko ako posudzovateľ a autor do r. 2008. Je členom viacerých redakčných rád odborných časopisov a vedeckých rád. Bol 2 obdobia aj predsedom Slovenskej meteorologickej spoločnosti. V databáze UK má viac ako 390 publikovaných prác, z toho 12 monografií, prípadne kapitol v monografiách, a približne 1000 citácií v medzinárodných citačných registroch. Absolvoval množstvo pozvaných prednášok.

Výsledky svojej vedeckej práce prezentoval na vyše 100 domácich a medzinárodných konferenciách, prípadne počas pobytov v zahraničí (Poľsko, Rusko, Maďarsko, Švajčiarsko, Nemecko, Rakúsko, Taliansko, Slovinsko, Rumunsko, Francúzsko, Švédsko, Mongolsko, Irán, USA, Juhoafrická republika, Portugalsko, Chorvátsko a Belgicko).

Počas svojej kariéry riešil množstvo grantov APVV, VEGA, NPOA, SAMRS, prípadne úloh zadáných ministerstvom životného prostredia ako hlavný riešiteľ alebo spoluriešiteľ.

Veľký ohlas odbornej verejnosti malo Medzinárodné sympóziu WMO o atmosférických zrážkach a výpare konané v roku 1993 v Bratislave, a medzinárodná konferencia „Bioklimatológia a voda v krajine“, konaná v Strečne na Slovensku v roku 2006, ktorých bol prof. Lapin hlavným organizátorom.

Svoj čas venoval aj výučbe a vzdelávaniu študentov. Bol garantom magisterského a doktorandského študijného programu Meteorológia a klimatológia na FMFI UK. Vychoval celý rad meteorológov a klimatológov, ktorí dnes úspešne pokračujú v rozvoji meteorológie a klimatológie u nás doma ako aj v zahraničí. Viedol bakalárske, diplomové práce a bol školiteľom doktorandov. Vypracoval viacero učebných textov pre študentov. Je hlavným autorom uznávanej učebnice „Všeobecná a regionálna klimatológia“, ktorá slúži k odbornému štúdiu aj pre študentov iných vysokých škôl. Je členom rôznych štátnicových, rigorózných a doktorandských komisií nielen na FMFI UK, ale aj na PRIF UK, SvF STU a Ústave geografie Přír F MU v Brne.

Veľmi pozitívne treba tiež hodnotiť jeho aktivity späté s propagáciou meteorológie a klimatológie na webových stránkach a v rozhlase, televízii a dennej tlači, kde absolvoval stovky vystúpení.

Za svoju prácu bol ocenený rôznymi vyznamenaniami, medzi ktoré patria: Strieborná medaila Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave (2000), Zlatá medaila Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave (2008), Pamätná plaketa akademika Duba zo Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (2008), Bronzová medaila Masarykovej univerzity v Brne, Česká republika (2008), ocenenie EnviroOsobnosť na Slovensku v roku 2011, Zlatá medaila Slovenského hydrometeorologického ústavu, Bratislava (2013).

Amatérsky sa venoval biatlonu, zjazdovému lyžovaniu, streľbe, cezpoľným behom a volejbalu. Získal aj rad popredných umiestení a reprezentoval SHMÚ. Športovaniu sa venuje doteraz.

Okrem slovenčiny ovláda 4 ďalšie jazyky.

Na záver môžeme skonštatovať, že je úspešným pokračovateľom odkazu prof. M. Končeka a Dr. Š. Petroviča a ostáva nám veriť, že ako jedna zo súčasných autorít slovenskej meteorológie a klimatológie naďalej ostane verný svojmu životnému poslaniu a to meteorológii a klimatológii.

Vážený pán profesor, prajeme Vám do ďalších rokov veľa tvorivých myšlienok, neutíchajúcu aktivitu a množstvo ďalších pracovných výsledkov, ako aj veľa zdravia a spokojnosti v osobnom živote.

*Martin Gera a Ingrid Damborská
FMFI, UK, Bratislava*