

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2019

ROČNÍK 22 - ČÍSLO 1
VOLUME 22 - NUMBER 1



SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

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

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

PREDSEDA REDAKČNEJ RADY – EDITORIAL BOARD CHAIRMAN

Norbert Polčák, SHMÚ, Bratislava

TECHNICKÁ REDAKTORKA – TECHNICAL EDITOR

Katarína Pukančíková, SHMÚ, Bratislava

REDAKČNÁ RADA – EDITORIAL BOARD

Jan Bednář, MFF UK (Faculty of Mathematics and Physics Charles University), Praha
Martin Benko, SHMÚ, Bratislava
Rudolf Brázdil, MU (Masaryk University), Brno
Kamila Hlavčová, STU (Slovak University of Technology), Bratislava
Branislav Chvíla, SHMÚ, Bratislava
Martin Kremler, SHMÚ, Bratislava
Milan Lapin, FMFI UK (Faculty of Mathematics, Physics and Informatics Comenius University), Bratislava
Danica Lešková, SHMÚ, Bratislava
Oľga Majerčáková, SHMÚ, Bratislava
Igor Matečný, PriF UK (Faculty of Natural Sciences Comenius University), Bratislava
Irena Michlíková, SHMÚ, Bratislava
Jozef Mindáš, SEVS (University of Central Europe), Skalica
Pavol Nejedlík, SHMÚ, Bratislava
Vladimír Pastirčák, SHMÚ, Bratislava
Jana Poórová, SHMÚ, Bratislava
Anna Pribullová, SHMÚ, Gánovce
Zora Snopková, SHMÚ, Banská Bystrica
Janka Szemesová, SHMÚ, Bratislava
Ján Szolgay, STU (Slovak University of Technology), Bratislava
Bernard Šiška, SPU (Slovak University of Agriculture), Nitra
Štefan Škulec, SHMÚ, Bratislava
Jaroslav Škvarenina, TU (Technical University), Zvolen
Pavel Šťastný, SHMÚ, Bratislava
Radim Tolasz, ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute), Ostrava
Milan Trizna, PriF UK (Faculty of Natural Sciences Comenius University), Bratislava
Jozef Vivoda, SHMÚ, Bratislava
Pavol Zaujec, SHMÚ, Bratislava

VYDAVATEĽ – EDITOR

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, jún 2019
Jeséniova 17, P.O. Box 15, 833 15 Bratislava 37
IČO 00 156 884
R. č. MK SR: 3268/09
ISSN 1335-339X

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2019

ROČNÍK 22 – ČÍSLO 1

VOLUME 22 – NUMBER 1

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

IS THE INCIDENCE OF EROSIONAL RAINS IN SLOVAKIA INCREASING?

Milan Onderka, Jozef Pecho, Vladimír Chudoba, Marcela Morvová 3

THE INFLUENCE OF THE DEGREE-DAY FACTOR DETERMINATION ON THE SNOW WATER EQUIVALENT SIMULATION

Michaela Danáčová, Michal Danko, Daniel Lajda 11

THE IMPACT OF GEORELIEF ON MICROCLIMATE OF VINEYARDS. CASE STUDY: TOPOĽČIANKY (SLOVAKIA)

Veronika Oršulová, Igor Matečný, Marián Jenčo, Norbert Polčák 21

DYNAMIC-CLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF THE MAXIMUM 2-DAY PRECIPITATION TOTALS IN SLOVAKIA

Ladislav Markovič 31

INFORMATION

State of the climate in Slovakia in 2018

Jozef Pecho, Ladislav Markovič, Pavel Faško, Gabriela Ivaňáková, Peter Kajaba, Maroš Turňa, Oliver Bochníček 39

Floods in the year 2018

Danica Lešková, Michaela Mikuličková, Dorota Simonová 44

Ice creeping on Orava dam shore driven by wind

František Tefák 48

Air protection conference 2018

Janka Szemesová 54

Information and outcomes from the 24th Conference of the Parties under the UNFCCC

Janka Szemesová 55

Activity of Slovak Meteorological Society in early 2019

Paulína Valová 56

International numerical weather prediction meetings organized by SHMÚ

Mária Derková 57

Membership in ECMWF will improve the quality of our products

Ivan Garčár 58

Seminar "Drought – How to prepare for it better?"

Pavel Šťastný, Katarína Mikulová 58

Open day in SHMÚ

Ivan Garčár 59

Workshop on the occasion of World meteorological day and World water day

Ivan Garčár 60

23rd Snow meeting

Daniela Kyselová, Kateřina Hrušková, Tomáš Trstenský 61

Indonesian ambassadress visit

Ivan Garčár 62

PERSONALS 63

OBSAH

ZVÝŠUJE SA VÝSKYT ERÓZNYCH DAŽĎOV NA SLOVENSKU?

Milan Onderka, Jozef Pecho, Vladimír Chudoba, Marcela Morvová 3

VPLYV SPÔSOBU URČENIA TEPLOTNÉHO FAKTORA NA SIMULÁCIU VODNEJ HODNOTY SNEHU

Michaela Danáčová, Michal Danko, Daniel Lajda 11

VPLYV GEORELIÉFU NA MIKROKLÍMU VINOHRADOV. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA: TOPOĽČIANKY (SLOVENSKO)

Veronika Oršulová, Igor Matečný, Marián Jenčo, Norbert Polčák 21

DYNAMICKO-KLIMATOLOGICKÁ ANALÝZA MAXIMÁLNYCH SÚM DVOJDENNÝCH ÚHRNOV ATMOSFÉRIKÝCH ZRAŽOK NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

Ladislav Markovič 31

INFORMÁCIE

Klimatologické zhodnotenie roka 2018

Jozef Pecho, Ladislav Markovič, Pavel Faško, Gabriela Ivaňáková, Peter Kajaba, Maroš Turňa, Oliver Bochníček 39

Povodne v roku 2018

Danica Lešková, Michaela Mikuličková, Dorota Simonová 44

Vetrom vyvolané nasúvanie ľadu na pobreží

Vodnej nádrže Orava
František Tefák 48

Konferencia Ochrana ovzdušia 2018

Janka Szemesová 54

Informácia o výsledkoch 24. Klimatickej konferencie

Janka Szemesová 55

Činnosť Slovenskej meteorologickej spoločnosti v úvode roka 2019

Paulína Valová 56

Medzinárodné stretnutia v oblasti numerického modelovania a predpovede počasia na pôde SHMÚ

Mária Derková 57

Členstvo v ECMWF skvalitní naše produkty

Ivan Garčár 58

Seminár „Sucho – ako sa naň lepšie pripraviť?“

Pavel Šťastný, Katarína Mikulová 58

Deň otvorených dverí na SHMÚ

Ivan Garčár 59

Seminár pri príležitosti Svetového dňa meteorológie a Svetového dňa vody

Ivan Garčár 60

23. stretnutie snehárov

Daniela Kyselová, Kateřina Hrušková, Tomáš Trstenský 61

Návšteva indonézskej veľvyslankyne

Ivan Garčár 62

PERSONÁLIE 63

IS THE INCIDENCE OF EROSION RAINS IN SLOVAKIA INCREASING?

MILAN ONDERKA¹, JOZEF PECHO^{1,2}, VLADIMÍR CHUDOBA¹, MARCELA MORVOVÁ¹

¹ Comenius University; Faculty of Mathematics, Physics and Informatics; Department of Astronomy, Physics of the Earth and Meteorology; Mlynská dolina, Bratislava, Slovakia SK-823 01

² Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 12, Bratislava, Slovakia SK-831 01

Atmospheric water holding capacity is known to increase with rising air temperature. Global warming has been linked to higher frequency and intensity of extreme precipitation events in many regions of the world. We have investigated the precipitation trends and their potential to induce soil erosion. The fundamental question we asked is: "Are erosive rains becoming more frequent and more intense in Slovakia?" Changes in the occurrence of erosive rains and the erosion factors were estimated from high-resolutions rainfall data at six sites in Slovakia. We analyzed a total of 18,000 rainfall episodes, out of which 711 events were found to be potentially erosive. At the six sites, erosive rains occurred 2.55 to 4.71 times per year. Over the period 1961–2009 the occurrence of all rains (including non-erosive rains) within the warm part of the year (April–October) increased, on average, by 16% from 44 events in 1962 to 51 events in 2009. Increasing trends have been observed in 15-min intensities at all locations. Because 15-min intensities are used as the selection criterion for erosive rains, if the trends in 15-min intensities continue to rise, more erosive rains can be anticipated in the future. However, data from more stations are needed to explore the spatial character of erosive rains and their statistical attributes. Finally, an update of R-factors for the considered stations in Slovakia is presented. The mean values of R-factors per erosive episode range from 13.41 to 18.05 R MJ ha⁻¹ cm hr⁻¹.

Jedným z hlavných pozorovaných a fyzikálne konzistentných prejavov zmeny klímy je významne zmenená schopnosť samotnej atmosféry zadržiavať väčšie množstvo vodnej pary, ktorá v závislosti od zvyšujúcej sa teploty vzduchu rastie exponenciálne. Z tohto dôvodu, prebiehajúca zmena klímy môže byť spojená aj s vyššou frekvenciou a intenzitou extrémnych zrážkových udalostí nad kontinentmi. V predkladanom príspevku sme preto skúmali trendy extrémnych krátkodobých zrážok a ich potenciálneho erozívneho účinku na pôdu. Položili sme si základnú otázku: „Sú erozívne dažde na Slovensku častejšie a intenzívnejšie?“. Zmeny vo výskyte erózných dažďov a erózných faktorov boli odhadnuté zo zrážkových časových radov s vysokým časovým rozlíšením na šiestich lokalitách na Slovensku. Analyzovali sme celkovo 18 000 zrážkových epizód, z ktorých 711 bolo potenciálne erozívnych. Na analyzovaných lokalitách sa erózne dažde vyskytovali v priemere 2,55 až 4,71 krát za rok. V období rokov 1961–2009 sa výskyt všetkých dažďov (vrátane neerozívnych) v teplej časti roka (apríl–október) v priemere zvýšil o 16 %, z priemerne 44 udalostí v roku 1962 na 51 udalostí v roku 2009. Trendy sme analyzovali v prípade 15-minútových intenzít vybraných zrážkových epizód na všetkých šiestich meteorologických stanicích. Keďže 15-minútové intenzity zrážok sa využívajú v zahraničnej literatúre ako kritérium výberu erózných dažďov, a v prípade tejto charakteristiky krátkodobých zrážok pozorujeme aj na Slovensku významne rastúce trendy, v súvislosti s predpokladaným rastom teploty vzduchu v budúcnosti sa dá očakávať viac erózných dažďov. Pre účely analýzy priestorového charakteru dlhodobých zmien erózných dažďov a ich štatistických atribútov bude však potrebné v ďalšej etape výskumu zhodnotiť údaje z viacerých staníc a regiónov na Slovensku. V závere príspevku sú prezentované aktuálne hodnoty R-faktorov pre vybrané meteorologické stanice na Slovensku. Priemerné hodnoty R-faktorov na erozívnu epizódu vypočítané pre celé obdobie záznamu sú v rozsahu od 13,41 do 18,05 R MJ ha⁻¹ cm h⁻¹.

Key words: R-factor, soil erosion, rain occurrence, trends

INTRODUCTION

Erosion is considered as one of the major factors disrupting the ability of soil to provide plants with nutrients (Maderková et al., 2014; Jones et al., 2012; Panagos et al., 2015; Renard et al., 1997). In Europe, the most widespread form of soil degradation is caused by water erosion. It is estimated that some 105 million hectares, which corresponds to 16% of total Europe's arable land area, are affected by water erosion (Jones et al., 2012). According to the recent estimates of soil erosion in the investigated region in Central Europe (Kročková, 2010), some 39.65% (957 173 hectares) are affected by water erosion. In Central Europe, soil erosion is caused mostly by heavy rain episodes, and short-term heavy rains are much more damaging than long-lived

and less dramatic rains (Routschek et al., 2014; Onderka et al., 2012; Maderková et al., 2014). Since not the entire rainfall episode takes part in the erosion process (Smith and Wischmer, 1978), soil erosion becomes apparent and significant when rain exceeds a certain threshold in the amount of rain, termed as the effective precipitation, that causes conditions for surface runoff and transport of soil particles (Janeček et al., 2013; Kozlovská and Toman, 2016; Onderka et al., 2012; Šúri et al., 2002; Wischmeier and Smith, 1978; Malíšek, 1990). Routschek et al. (2014) investigated a process-based soil erosion model focusing on changes in erosion rates at high temporal and spatial resolutions in three catchments in Germany under regional climate change simulations using the A1B IPCC-climate change scenario. Their model outputs revealed that the total number

of rainstorms is expected to decrease in future while rainfall intensities are likely to increase. Routschek et al. (2014) claim that by the year 2050 the number of heavy rainstorms may decrease while rain intensities will increase, and that heavy rainstorms will most likely shift from summer to autumn and spring.

Climatic extremes have been widely investigated (Jakob 2013; Agha Kouchak et al., 2013; Diffenbaugh and Giorgi, 2012; Kharin et al., 2007; Easterling et al., 2000). Climatic extremes such as heavy precipitation events have substantially increased in the past few decades (Alexander et al., 2006; Vose et al., 2005). Increasing temperature enhances atmospheric water holding capacity, which increases the frequency and/or intensity of extreme precipitation events (Ganguli and Coulibaly, 2017).

O’Gorman (2015) suggests a dependency between mean and extreme precipitation on air temperature. This dependency has been ascribed to physical relation known as the Clausius-Clapeyron relation (Lenderink and van Meijgaard, 2008; O’Gorman and Schneider, 2009; Wasko and Sharma, 2015, 2017), according to which increased water-holding capacity of warmer air intensifies heavy rainfall at a rate of approximately $7-8\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ of warming. Lenderink and van Meijgaard (2008) and Lenderink et al. (2017) found that in the Netherlands, extreme precipitation of sub-hourly up to 6-hourly durations have increased above the Clausius-Clapeyron relation. Similar results were found by other authors in Switzerland (Ban et al., 2014), Germany (Berg et al., 2013), the UK (Blenkinsop et al., 2015), Australia (Wasko and Sharma, 2015, 2017; Schroeder and Kirchengast, 2017), North America (Shaw et al., 2011), and China (Miao et al., 2016). It has to be noted that this pattern of increasing annual extremes with air temperature is not valid for every part of the Earth and based on observations published in relevant literature this relation seems to be site-specific and regional. For instance, negative rates have been reported in India (Ali and Mishra, 2017) and Northern Australia (Hardwick Jones et al., 2010).

To our best knowledge, there has been no study published in Slovakia that would analyse the occurrence of erosive rains and the temporal behavior of the erosive factor. In this paper we will attempt to fill this gap so that we can answer the question “Are erosive rains becoming more frequent?”

The primary goal of this study is to (i) calculate the erosive factors from the longest available dataset using high-resolution rainfall data, and (ii) to estimate trends in the occurrence of conditions favoring soil erosion.

METHODS AND DATA

Rainfall data

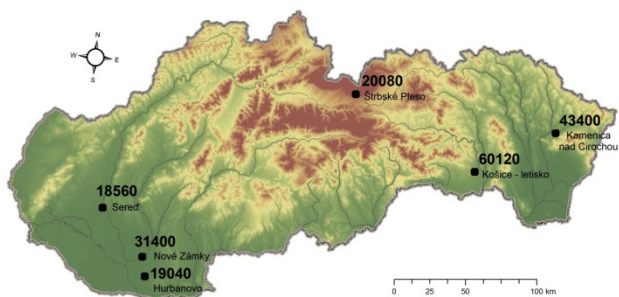
The rainfall data used in this paper were taken from the national meteorological and climatological databases administered by the Slovak Hydrometeorological Institute. The network of rain gauges consists of 163 stations distributed homogeneously over the investigated area. Since the length of the available rainfall data varies considerably, we have restricted our analyses only to the longest data covering 46 years of record (Tab. 1). The data cover a period

from ~1961–2009. The rainfall data were collected in ombrographs within the “warm” period of the year when precipitation falls in the form as rain (April–October), hence the dormant season (November–March) was not analyzed. Nevertheless, the rain erosion index itself does not account for the erosive forces of thaw and snowmelt anyway (Wischmeier and Smith, 1978). With the recent effort of the Slovak Hydrometeorological Institute to digitalize older rainfall data recorded on paper strips, and the subsequent extension of the database, it is now possible to work with high-resolution data (1-min).

Table 1. List of sites.

Station ID	Locality name	Elevation [m a.s.l.]	Series length [years]
18560	Sereď	126	46
19040	Hurbanovo	115	48
20080	Štrbské Pleso	1322	48
31400	Nové Zámky	111	48
43400	Kamenica nad Cirochou	176	48
60120	Košice, airport	229	48

Figure 1. Location of sites.



Selection of erosive rains

It has to be noted that not every rainfall episodes is erosive. Several authors discuss the threshold above which a rainfall episode triggers soil erosions (Hrnčiarová 2011; Toman 1995; Janeček et al., 2012; Sadegh et al., 2015; Kozlovská and Toman, 2016). A threshold of 12.5 mm of rainfall depth (or total volume) was originally introduced for the Universal Soil Loss Erosion model (U.S.L.E) by Wischmeier and Smith (1978). In the Revised U.S.L.E model, on the other hand, 12.7 mm of total rainfall volume is applied (Renard et al., 1997; Panagos et al., 2015). Based on field studies Toman (1985) and Hrnčiarová (2001) suggest that already a 10 mm rainfall may lead to soil erosion. However, for comparative reasons with studies conducted elsewhere in the investigated region (e.g. Janeček et al., 2012; Kozlovská and Toman, 2016), and also due to the wide-spread acceptance of the 12.5 mm threshold, we stick to the value of 12.5 mm in our calculations of R-factors. In terms of maximum intensity of rainfall as a selection criterion of erosive rains, we calculate maximum 15-min intensity of 6.25 mm. Erosive episodes were identified based on pre-defined criteria: 12.5 mm threshold of total rain volume and >6.25 mm as maximum 15-min intensity. It should be noted that the separated potentially erosive rain episodes were not divided into segments of equal intensity, as ori-

ginally proposed by Wischmeier and Smith (1978). Our approach was to take advantage of the high-resolution data sampled in 1-minute intervals, hence we considered each measurement interval as a unique rain segment of equal intensity. The length of the rainfall segments is equal to one minute. Brychta and Janeček (2017) investigated the effects of selection criteria for erosive rains. Usually the selection criteria are based on two pre-conditions: A rain episode is erosive if the total rain depth exceeds 12.5 mm AND simultaneously the 15-min intensity exceeds 6.25 mm.

Erosive factors

For the calculation of the erosive factors (R-factors) we used the metric version of the empirical equation developed originally by Smith and Wischmeier (1978) and used in its original or modified form i.e. in Malíšek, (1990); Šúri et al., (2002); Janeček et al. (2012); Kozlovská and Toman (2016). The R factor was computed from the rainfall measurements collected at six meteorological stations (Tab. 1).

The erosive factor R is defined as an average of multiplication of rainfall kinetic energy and maximum 30-minute event intensity for a chosen period (i.e. year, season, month).

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (E_{tot} I_{max,30}) , \quad [\text{Eq. 1}]$$

where R [$\text{MJ ha}^{-1} \text{cm h}^{-1}$], or interchangeably termed as EI_{30} , is the rain erosivity factor averaged for a period of length N . The rain erosivity factor is a product of total storm energy E_{TOT} multiplied by the maximum 30-minute intensity $I_{max,30}$ (Eq. 2). The sum of the storm $E_{TOT} I_{30}$ values (energy-times-intensity parameter) for a given period is the numerical measure of the erosive potential of the rainfall within that period. According to Wischmeier and Smith (1978), soil losses are linearly proportional to the $E_{TOT} I_{max,30}$ parameter. It has to be noted that the energy-times-intensity parameter does not necessarily indicate the erosive potential of a rainfall episode, because low-intensity rains lasting for a long time may have the same energy as short-lived high intensity rain showers. The product $E_{TOT} I_{max,30}$ combines the effects of both the energy and intensity on the erosive potential:

$$E_{TOT} = \sum_{i=1}^n E_i , \quad [\text{Eq. 2}]$$

where E_i is kinetic energy of the i -th rainfall segment. The total kinetic energy of an erosive event is a sum of all rainfall segments n (Eq. 3).

$$E_i = (206 + 87 \log I_{30}) H , \quad [\text{Eq. 3}]$$

where I_{30} [cm hr^{-1}] and H [cm] are the intensity and height of a rainfall segment, respectively.

Trend analyses

To estimate the trend slopes and their confidence intervals we used bootstrapping. Bootstrapping is a nonparametric

approach that requires no a priori distributional assumptions (such as normally distributed errors). Instead, bootstrapping uses the sample data to estimate relevant characteristics of the population. The sampling distribution of a statistic is then constructed empirically by resampling from the sample. Carpenter and Bithell (2000) suggested that bootstrap confidence intervals should be used whenever there is cause to doubt the assumptions underlying parametric confidence intervals, i.e. due to small sample size. The trends calculated in this paper were calculated as linear regression with bootstrapped parameters with time as regressor. The Mann-Kendal test (M-K) was used in parallel to the bootstrapping technique as an independent method to decide whether a detected trend was significant or not. Levels of significance are also used as a proxy to get insight into how probable the results are if the null hypothesis were true, without necessarily a priori settling a cut-off level. Nevertheless, a “cut-off” significance level ($\alpha = 0.1$) was arbitrarily chosen to detect trends with a 90% probability.

RESULTS

The number of all erosive events, i.e. events that are separated by at least 6 hours with no rain tend to increase in most of the stations, as shown in figure 2. When we plot the number of events that satisfy the selection criteria of volume $V_{tot} > 2.5$ mm and the maximum 15-minute intensity $I_{15min} > 6.25$ mm (Fig. 3), the trend lines indicate an increasing tendency in the occurrence of erosive events within the investigated period from 1961–2009. A periodic behavior is apparent in the time series, as highlighted by the 3-year running averages. We have chosen the window length of 3 years for the running averages seemed a reasonable trade off value to show the long-term fluctuations in all analyzed series.

The median slopes of trends identified in the time series of annual occurrences of rainfall events are indicated in table 3. The trends were quantified by bootstrapping and the significance of the trends was estimated by the Mann-Kendal test. Whenever the significance level α was below 0.1, the trend was considered significant. Another way of interpreting the trend slopes presented in table 3 is that the average changes in the annual occurrences of rainfall episodes can be quantified by multiplying the trend slopes with the length of the record. For example, in the year 2009 there were approx. 11 more rain episodes (episodes including non-erosive rains) detected at Station 18560 (Sered') compared to the year 1962.

In most of the locations, the trends in the occurrence of all detected rainfall episodes were either significantly increasing or stable (Fig. 3, Tab. 3). The Station 19040 appeared to be an exception, where the trend was close to zero, but the trend estimate appeared to be not significant on the significance level $\alpha=0.1$. In terms of the occurrences of erosive events (Fig. 3), the detected trends are not significant (Tab. 4), and no consistency appears between the stations. However, an apparent cyclic behavior of the annual occurrences of erosive events is evident in the 3-yr running averages.

Table 2.

Summary statistics:
annual occurrence of events
with $I_{15} > 6.25$ mm/15min,
annual occurrence of events
with $H > 12.5$ mm,
annual occurrence of events
simultaneously satisfying
conditions with $H > 12.5$ mm
AND $I_{max,15} > 6.25$ mm;
total kinetic energy
per event E_{tot} [$J m^{-2}$],
erosive factor
 R [$MJ ha^{-1} cm hr^{-1}$],
total volume V_{tot} [cm]
and maximum 30-min
intensities $I_{max,30min}$ [cm].

		mean	median	min	max	mean	median	min	max
Station ID		18560				19040			
Number of events	Total rain episodes	49.56				64.29			
	$I_{15min} > 6.25$ mm	3.02				2.94			
	$H > 12.5$ mm	6.43				7.71			
	Erosive episodes	2.63				2.55			
	E_{tot}	536.29	491.70	297.57	2019.76	558.72	494.38	294.27	1252.49
	R-factor	13.41	10.38	3.97	50.69	13.65	11.36	3.27	59.64
	V_{tot} [cm]	2.21	2.09	1.29	8.04	2.31	1.90	1.26	5.98
	$I_{max,30min}$ [cm]	2.40	2.30			2.26	2.16		
Station ID		20080				31400			
Number of events	Total rain episodes	67.95				55.02			
	$I_{15min} > 6.25$ mm	3.71				2.60			
	$H > 12.5$ mm	11.94				6.38			
	Erosive episodes	4.71				2.77			
	E_{tot}	597.69	518.10	261.42	2106.80	610.58	515.94	267.01	1855.11
	R-factor	14.79	11.90	3.08	85.58	15.83	12.99	2.77	60.53
	V_{tot} [cm]	2.59	2.18	1.26	10.43	2.58	2.02	1.28	9.31
	$I_{max,30min}$ [cm]	2.33	2.19			2.48	2.17		
Station ID		43400				60120			
Number of events	Total rain episodes	72.47				67.73			
	$I_{15min} > 6.25$ mm	4.42				4.75			
	$H > 12.5$ mm	11.60				9.67			
	Erosive episodes	3.52				3.76			
	E_{tot}	576.64	507.84	281.83	1403.36	608.07	496.87	281.43	2121.91
	R-factor	15.83	11.39	0.77	59.64	18.05	11.73	0.28	89.21
	V_{tot} [cm]	2.41	2.15	1.26	6.12	2.53	2.11	1.26	10.48
	$I_{max,30min}$ [cm]	2.55	2.37			2.64	2.36		

Figure 2. Number of all rainfall events separated by 6-hr interruption with no rain (i.e. including non-erosive rains). The solid lines indicate the median linear trend estimated by bootstrapping. The 3-year centred running average is shown in bold.

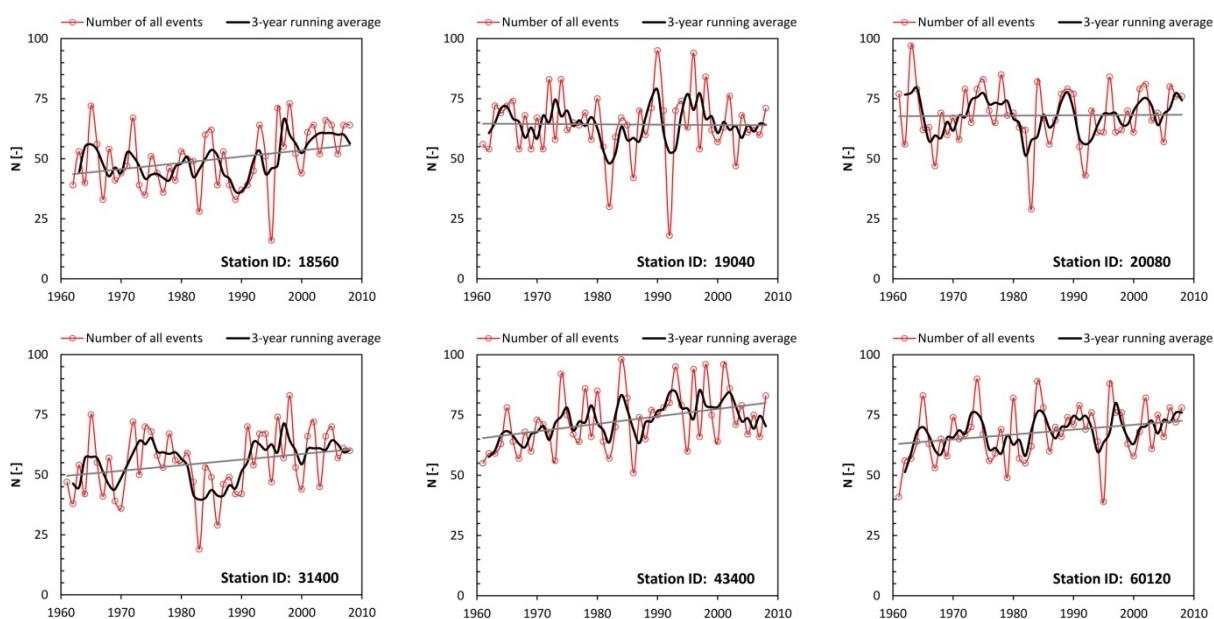


Table 3. Median slopes estimated by bootstrapping the annual sum of all events (including non-erosive events), events with total rainfall depth $H > 12.5$ mm, events with $I_{max,15min} > 6.25$ mm; and erosive events satisfying condition both conditions simultaneously: $H > 12.5$ mm AND $I_{max,15min} > 6.25$ mm. Levels of significance are indicated in bold whenever $\alpha > 0.1$.

Station ID	Number of all events	H	$I_{max,15min}$	Number of erosive events
18560	0.241 ($\alpha = 0.042$)	-0.018 ($\alpha = 0.662$)	-0.025 ($\alpha = 0.135$)	-0.025 ($\alpha = 0.135$)
19040	0.007 ($\alpha = 0.869$)	0.039 ($\alpha = 0.101$)	-0.015 ($\alpha = 0.375$)	-0.017 ($\alpha = 0.375$)
20080	0.021 ($\alpha = 0.724$)	0.060 ($\alpha = 0.098$)	0.021 ($\alpha = 0.724$)	0.021 ($\alpha = 0.725$)
31400	0.240 ($\alpha = 0.089$)	0.055 ($\alpha = 0.093$)	0.016 ($\alpha = 0.337$)	0.016 ($\alpha = 0.337$)
43400	0.313 ($\alpha = 0.008$)	0.069 ($\alpha = 0.066$)	-0.002 ($\alpha = 0.931$)	-0.001 ($\alpha = 0.931$)
60120	0.265 ($\alpha = 0.008$)	0.016 ($\alpha = 0.623$)	0.008 ($\alpha = 0.524$)	0.009 ($\alpha = 0.524$)

Figure 3. Number of erosive events satisfying the criteria of $V_{tot} > 12.5$ mm AND maximum $I_{15min} > 6.25$ mm. The solid line indicates the median linear trend estimated by bootstrapping. The 3-year centered running average is shown in bold.

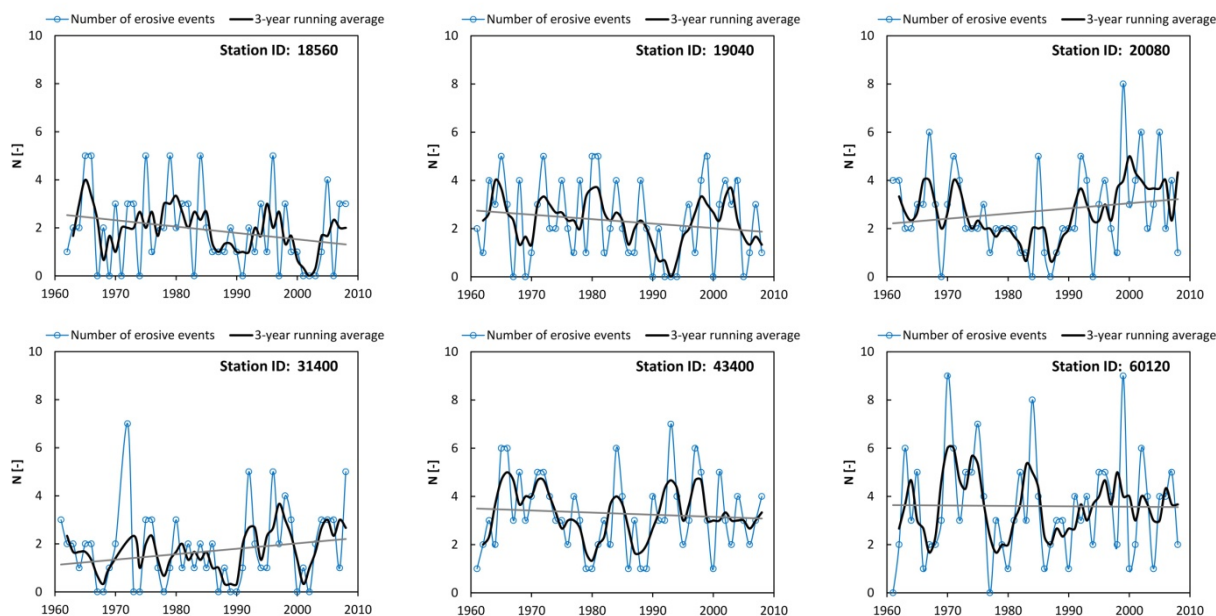
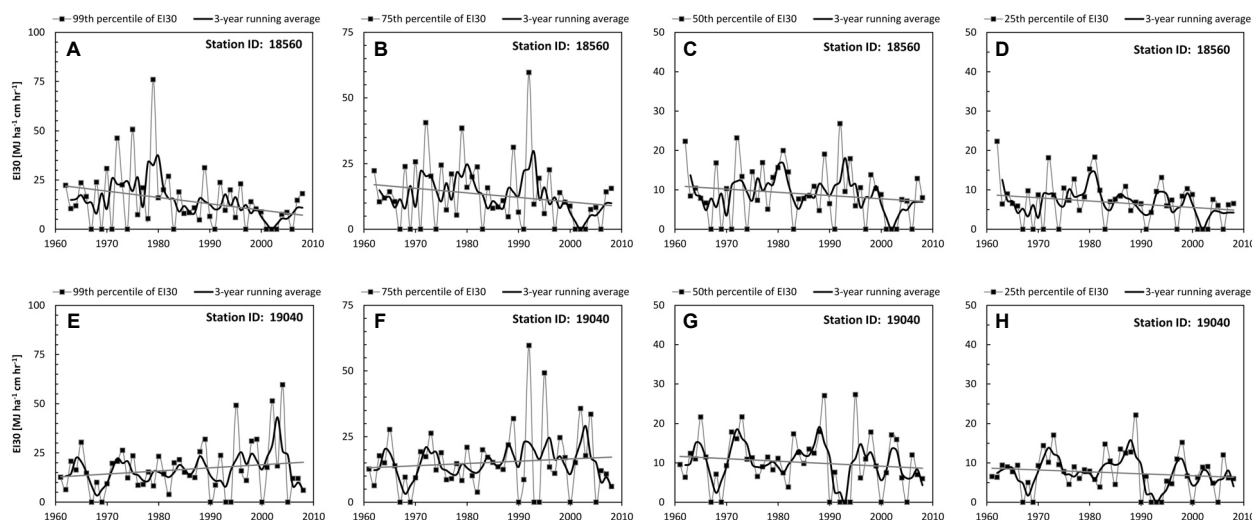


Figure 4. The 99-th percentiles, medians, and the upper/lower quartiles of EI30 calculated for the Station 18560 (A-D); Station 19040 (E-H). Calculated for events satisfying the criteria $V_{tot} > 12.5$ mm AND maximum $I_{15min} > 6.25$ mm.



Our intention was to analyse trends in annual extremes of EI30 defined by the 99-th percentiles, medians, and the upper/lower quartiles (25-th and 75-th percentiles). The temporal behavior of annual statistics for EI30 is shown in figures 4–6. The fundamental idea of calculating the trends for the 99-th percentiles was to find out whether the annual extremes underwent any changes within the period 1961–2009. Trends in the upper and lower quartiles and medians provide an important information on the changes in the distribution of the EI30 values. In the case of Station 18560 (Fig. 4A) and Station 20080 (Fig. 5I), a decreasing trend was detected in the 99-th percentiles of EI30. On the other hand, an increasing trend was identified

in the annual extremes EI30 in Station 19040 (Fig. 4E) and Station 43400 (Fig. 6Q). As no consistent patterns in the trends of EI30 time-series are apparent, at this stage it is impossible to make any conclusive remarks on the spatial character of trends due to the low number of stations.

The trend directions in the number of erosive events seem to be perfectly correlated with the trend direction in 15-min intensities I_{15min} (Tab. 3). In other words, more rains become erosive with increasing 15-min rainfall intensities. Because 15-min intensities are used as the selection criterion for erosive rains, if the trend in 15-min intensities continues to rise, more erosive rains are anticipated in the future.

Figure 5. Continuation of Figure 4. The 99-th percentiles, medians, and the upper/lower quartiles of EI30 calculated for the Station 20080 (I-L); Station 31400 (M-P). The solid line indicates the median value of linear trend (estimated by bootstrapping). The 3-year centered running average is shown in bold.

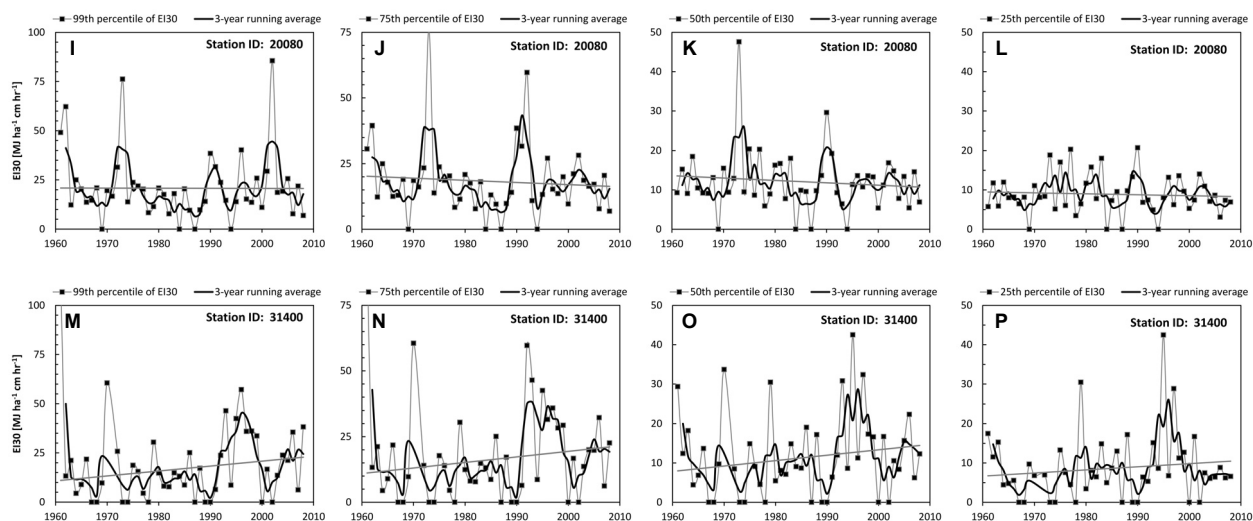
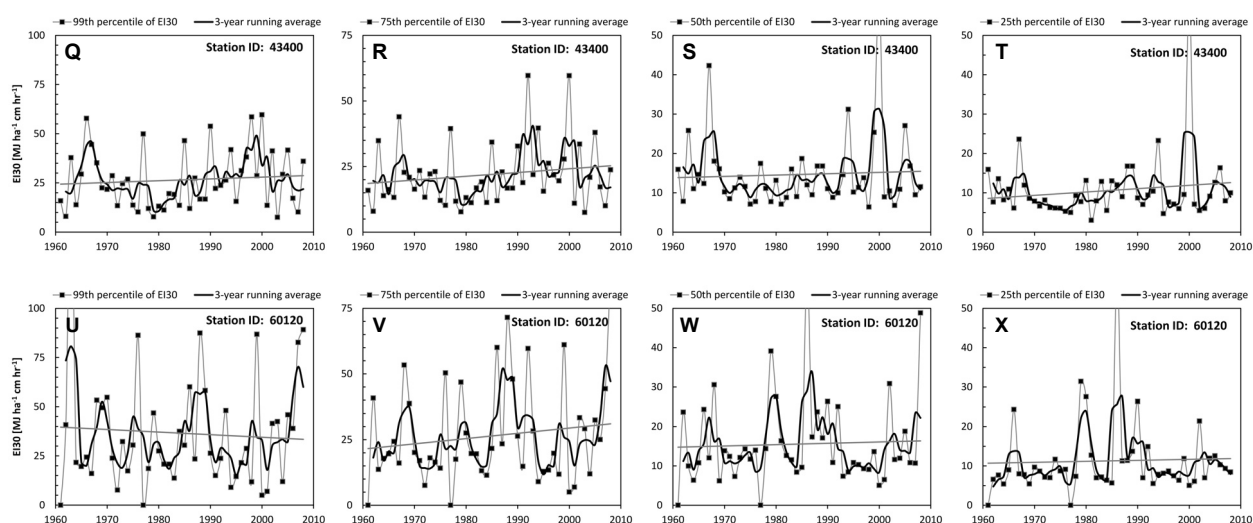


Figure 6. Continuation of Figure 4. The 99-th percentiles, medians, and the upper/lower quartiles of EI30 calculated for the Station 43400 (Q-T); Station 60120 (U-X). The solid line indicates the median value of linear trend (estimated by bootstrapping). The 3-year centered running average is shown in bold.



The mean values of R-factors per erosive episode range from 13.41 to 18.05 R MJ ha⁻¹ cm hr⁻¹. This range is similar to the R-factors calculated in the past by other investigators (Mališek, A., 1990). However, our estimates R-factors are calculated on more recent data (1961–2009).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In this paper we investigated the changes in the occurrence of rains, potentially erosive rains and erosivity factors in Slovakia. We have analyzed time-series from six sites in Slovakia covering a record period of 1961–2009. Rains with a potential to cause soil erosion were selected by applying selection criteria of total rainfall depth > 12.5 mm

and maximum 15-min intensities > 6.25 mm. A rain episode was considered potentially erosive when these two criteria were satisfied simultaneously.

Despite our prior expectations to detect trends in erosivity factors, the annual statistics of the erosivity factors show no consistent pattern in trends. Despite the fact that no significant linear trends were found in the R-factors, rather strong seasonal and long-term cyclic variations exist. It was not our objective to assign the periodicities to any concrete large climate phenomena. However, what did change over the course of the analyzed period is the occurrence of rainfall episodes. For example, the long-term average annual number of rain episodes at Sereď (Station 18560) is 49.56 (Tab. 2). There were 5.3% more rain episodes at the end of the record in 2009 compared to the

beginning of the record in 1961. Similar percentage changes ranging from 3.9% to 6.9% are present in the rest of the stations. This means that over the period of 1961 to 2009 the average number of all rains within the warm part of the year (March–October) increased from 3.9% to 6.9%. The annual average number of erosive episodes ranged from 2.55 (Station 19040) to 4.71 (Station 20080). Similar occurrences of erosive rains were observed in the neighbouring Czech Republic (Janeček et al., 2012). No general pattern in the detected trend was observed. However, the direction of trends in the number of erosive events seems to be correlated with the trends in maximum 15-min intensities $I_{\max, 15\min}$. A possible physical explanation of this trend in the 15-min intensities can be ascribed to the Clausius-Clapeyron relation (Lenderink and van Meijgaard, 2008; O’Gorman and Schneider, 2009; Wasko and Sharma, 2015, 2017), according to which increased water-holding capacity of warmer air intensifies heavy rainfall at a rate of approximately $7-8\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ of warming.

Our findings have important implications for agrometeorological applications. As global warming seems to continue in the future, rainfall intensities will most probably increase and subsequently trigger more erosive rains. This will have adverse effects on soil losses and soil nutrient management. As soil erosion is related to losses in agricultural production and soil fertility, mitigation strategies to global warming need to consider the increasing occurrence of erosive rains.

Acknowledgement

We would like to express our gratitude to the Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava for providing the rainfall data.

REFERENCES

- Brychta, J.–Janeček M., 2017, *Evaluation of Discrepancies in Spatial Distribution of Rainfall Erosivity in the Czech Republic Caused by Different Approaches Using GIS and Geostatistical Tools*. *Soil & Water Res.*, 12 (2), 117–127.
- Carpenter, J.–Bithell, J., 2000, *Bootstrap confidence intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians*. *Statist. Med.* 2000; 19:1141.
- Ganguli, P.–Coulibaly, P., 2017, *Does nonstationarity in rainfall require nonstationary intensity-duration-frequency curves?* *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 6461–6483, 2017.
- Hanel, M.–Pavlásková, A.–Kyselý, J., 2015, *Trends in characteristics of sub-daily heavy precipitation and rainfall erosivity in the Czech Republic*. *Int. J. Climatol.* 36: 1833–1845.
- Hrnčiarová, T., 2001, *Ekologická optimalizácia poľnohospodárskej krajiny: (modelové územie Dolná Malanta)*. VEDA, ISBN 80-224-0664-3, 134 pp.
- Janeček, M.–Květoň, V.–Kubátová, E.–Kobzová, D., 2012, *Differentiation and regionalization of rainfall erosivity factor values in the Czech Republic*. *Soil Water Res.* 7, 1–9.
- Janeček, M.–Květoň, V.–Kubátová, E.–Kobzová, D.–Vošmerová, M.–Chlupsová, J., 2013, *Values of rainfall erosivity factor for the Czech Republic*. *J. Hydrol. Hydromech.* 61, 97–102. <https://doi.org/10.2478/johh-2013-0013>.
- Jones, A.–Panagos, P.–Barcelo, S.–Bouraoui, F.–Commission, E.–Ies, C., 2012, *The state of soil in Europe, JRC reference report. Joint ...* <https://doi.org/10.2788/77361>.
- Kozlovská, S.–Toman, F., 2016, *Occurrence of erosion-effective rain in the Brno area*. *Acta Univ. Agric. Silv. Mende-lianae Brun.* 64, 1583–1591. <https://doi.org/10.11118/actaun201664051583>
- Kročková, B., 2010, *Pôda ako zložka životného prostredia v Slovenskej republike k roku 2010*. Banská Bystrica. *Indication Report 2010*. Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica (Slovak Environmental Protection Agency). pp 45.
- Maderková, L.–Antal, J.–Čimo, J., 2014, *Statistic and probability characteristics of rain factor R in Slovak Republic*. *Eurasian Journal of Soil Science*.
- Malíšek, A., 1990, *Zhodnotenie faktora erózneho účinnosti prívalovej zrážky*. *Geogr. časopis* 4.
- Onderka, M.–Krein, A.–Wrede, S.–Martínez-Carreras, N.–Hoffmann, L., 2012, *Dynamics of storm-driven suspended sediments in a headwater catchment described by multi-variable modelling*. *J. Soils Sediments* 12, 620–635. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0480-6>.
- Panagos, P.–Borrelli, P.–Meusburger, K.–Yu, B.–Klik, A.–Jae Lim, K.–Yang, J.E.–Ni, J.–Miao, C.–Chattopadhyay, N.–Sadeghi, S.H.–Hajbavi, Z.–Zabihi, M.–Larionov, G.A.–Krasnov, S.F.–Gorobets, A.V.–Levi, Y.–Erpul, G.–Birkel, C.–Hoyos, N.–Naipal, V.–Oliveira, P.T.S.–Bonilla, C.A.–Meddi, M.–Nel, W.–Al Dashti, H.–Boni, M.–Diodato, N.–Van Oost, K.–Nearing, M.–Ballabio, C., 2017a, *Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records*. *Sci. Rep.* 7, 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>.
- Routschek, A.–Kreienkamp, F.–Routschek, A.–Schmidt, J.–Kreienkamp, F., 2014, *Climate change and soil erosion catena. Impact of climate change on soil erosion - A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany*. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.019>.
- Sadeghi, S.H.–Hajbavi, Z., 2015, *Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran*. *Natural Hazards* 75, <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1607-z>.
- Šúri, M.–Cebecauer, T.–Hofierka, J.–Fulajtár, E., 2002, *Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS*. *Ecol.* 21, 404–422.
- Svensmark, H.–Friis-Christensen, E., 1997, *Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - A missing link in solar-climate relationships*. *J. Atmos. Solar-Terrestrial phys.* 59, 1225–1232. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(97)00001-1)
- Toman, F., 1985, *Sto let výstavby a územního plánování města Hradce Králové*.
- Wischmeier, W.H.–Smith, D.D., 1978, *Predicting Rainfall Erosion Losses - a guide to Conservation planning*. *Agriculture Handbook*.

VPLYV SPÔSOBU URČENIA TEPLOTNÉHO FAKTORA NA SIMULÁCIU VODNEJ HODNOTY SNEHU

MICHAELA DANÁČOVÁ¹, MICHAL DANKO², DANIEL LAJDA¹

¹ Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

² Experimentálna hydrologická základňa, Ústav hydrológie SAV, Ondrašovská 16, 031 05 Liptovský Mikuláš

The paper deals with determination of the degree-day factor and its time course from the long-term manual measurements of the snow water equivalent. The study was conducted at the Červenec site (the Western Tatras Mountains), located in the mountain catchment of the Jalovecký Creek at the altitude of 1500 m a.s.l. We used data from the snow-melt period of years 1996–2015. The degree-day factor was determined for two critical snowmelt temperatures 0 °C and +1 °C. Then, the influence of seasonal variability of the degree-day factor (constant, monthly and daily variable) on the snow water equivalent simulation was tested. Simulated snow water equivalent course was compared with manual measurements and with measurements from the automatic station in 2016 and 2017. The results showed that the best simulations of the snow water equivalent were achieved for the critical melting temperature of 0 °C using a variable daily temperature factor.

V príspevku sa venujeme spôsobu určenia teplotného faktora a jeho priebehu v čase z dlhodobých manuálnych meraní vodnej hodnoty snehu. Ako záujmové územie bola vybraná otvorená plocha na lokalite Červenec v Západných Tatrách, ktorá leží v horskom povodí Jaloveckého potoka v nadmorskej výške 1500 m n.m. Z expedičných meraní boli vyhodnotené fázy topenia snehu v rokoch 1996–2015. Teplotný faktor sa určoval pre dve kritické teploty topenia 0 °C a +1 °C. Po získaní hodnôt teplotného faktora boli vytvorené jeho priebehy v čase (konštantný, mesačný a denný teplotný faktor) a overená schopnosť jednoduchého snehového modelu simulovať akumuláciu a topenie snehu s týmito teplotnými faktormi. Priebeh simulovanej vodnej hodnoty snehu bol porovnaný s manuálnymi meraniami a meraniami z automatickej snehomernej stanice v rokoch 2016–2017. Najlepšie simulácie vodnej hodnoty snehu boli dosiahnuté pre kritickú teplotu topenia 0 °C a pri použití premenlivého denného teplotného faktora.

Key words: snow-melt, degree-day factor, snow water equivalent

ÚVOD

V horských oblastiach je snehová pokrývka významnou zásobárňou vody, ktorá ovplyvňuje vodnú bilanciú (Dewalle a Rango, 2008). Výška snehovej pokrývky ako aj jej vlastnosti majú veľkú priestorovú a časovú variabilitu, hlavnými príčinami ktorej sú fyzicko-geografické faktory územia. Ide o faktory geomorfologické (nadmorská výška, sklon a expozícia svahu), klimatické (zrážky, teplota vzduchu, slnečné žiarenie, smer a rýchlosť vetra) a vplyv vegetácie (typ vegetácie, jej štruktúra, vek). Aj fyzikálne, chemické a optické vlastnosti snehovej pokrývky sa menia v čase a prebieha v nej mnoho procesov. Poznanie procesu akumulácie a topenia snehovej pokrývky je dôležité pre tvorbu hydrologickej predpovede pre horské povodia, ktorou môžeme včas varovať pred prípadnými povodňami pre nižšie položené obce alebo pomôcť pri regulovaní zásob vody vo vodných nádržiach.

Existuje veľké množstvo štúdií, ktoré sa venujú priestorovej a časovej variabilite výskytu snehovej pokrývky, modelovaniu, procesom a vplyvom topenia, akumulácie snehu v krajine (napr. Holko a kol., 2001; Hock, 2003; Jost a kol., 2007; Krajčí a kol., 2016; Sleziač a kol., 2018; Hurkamp a kol., 2019). Najčastejšie sa autori venujú procesu topenia snehu na otvorenej a lesnej ploche. Fakt, že na otvorených plochách je vyššia akumulácia snehu ako v lese, sa potvrdil vo viacerých štúdiách (napr. Bartík a kol., 2014;

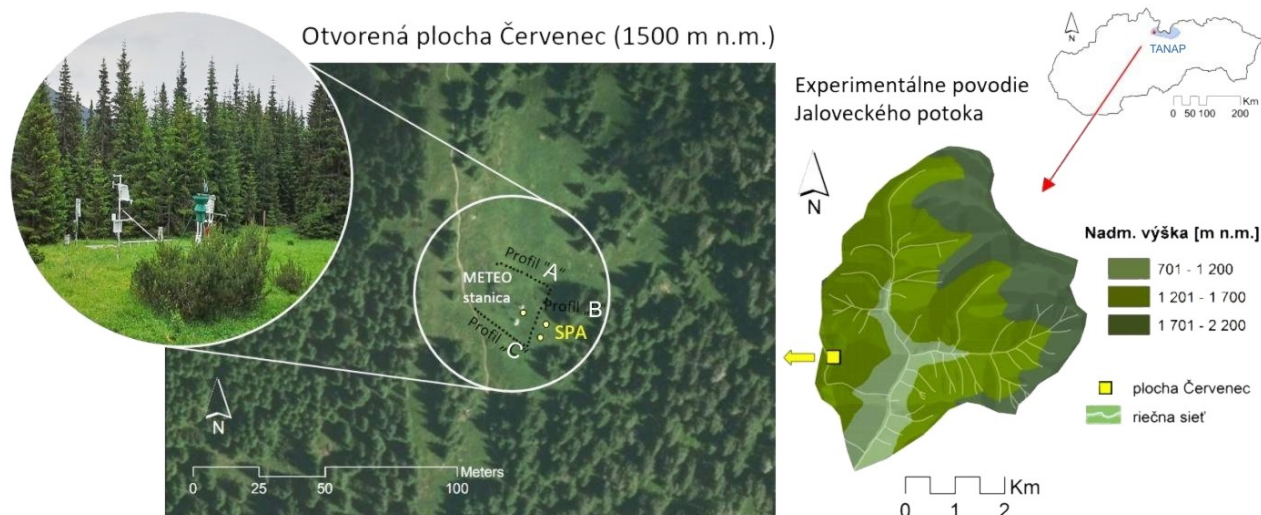
Jeníček a kol., 2015; a iní). Charakteristiky snehovej pokrývky závisia aj od stavu a hustoty vegetačného pokryvu (napr. Andreson, 1963; Kuusisto, 1980; Koivusalo and Kokonen, 2002; Pugh a Small, 2013; Jeníček a kol., 2017; Bartík a kol., 2019).

Topenie snehu je veľmi zložitý proces a jeho matematický opis vedie k veľmi zložitým modelom, ktoré v praxi nie je vždy možné využiť. Z fyzikálneho hľadiska je proces dobre opísateľný a hlavnými činiteľmi sú dopadajúce slnečné žiarenie a vyžarovanie povrchu snehu (Holko a kol., 2001). Pri matematickom modelovaní snehovej pokrývky sa z viacerých dôvodov aplikuje zjednodušenie reálnych procesov. Najčastejšie sa využívajú dve metódy, a to energetická bilancia alebo metóda teplotného indexu (faktora). Metóda energetickej bilancie je založená na fyzikálnych vlastnostiach atmosféry, snehovej pokrývky a mechanizmu výmeny energie na rozhraní povrchu zem-sneh a sneh-atmosféra (Singh, 2001). Ide o pomerne presnú metódu, avšak mnohé modely energetickej bilancie sa často nedajú aplikovať kvôli náročnosti na získanie vstupných údajov a ich variabilite. Metóda teplotného indexu je založená na empirických vzťahoch. Topenie snehu sa v nej najčastejšie vyjadruje v závislosti na teplote vzduchu, pretože teplota vzduchu významne vplyva na výmenu energie medzi snehom a okolím. Teplota vzduchu odráža vplyv slnečného žiarenia, tlaku vodných pár a je citlivá na pohyb vzduchových hmôt (DeWalle a Rango, 2008).

Metóda teplotného indexu je vďaka svojej jednoduchosti a dostupnosti vstupných údajov v rôznych modifikáciách široko využívaná po celom svete buď samostatne, alebo ako súčasť mnohých komplexných zrážkovo-odtokových modelov (napr. HEC-HMS, MikeShe a ďalšie). Pri tejto metóde je dôležité stanovenie teplotného faktora, ktorý sa v čase a priestore mení (Martinec, 1960; Kuusisto, 1980; Hock, 2003, a iní). Teplotný faktor sa pri matematickom modelovaní topenia snehu väčšinou určuje jeho kalibráciou alebo podľa hustoty snehu. Fraz Ismail a kol. (2015) sa zaoberali kalibráciou faktora topenia snehu a odvodili závislosti teplotného faktora od teploty vzduchu vo výškových zónach v horskom povodí. Holko a kol. (2012) porovnávali hodnoty získané z kalibrácie jednoduchého modelu akumulácie a topenia snehu s hodnotami získanými podľa Martinca a zistili nelineárny vzťah medzi hustotou snehu a teplotným faktorom. Stanoveniu kritickej teploty topenia snehu, ktorá vystupuje v metóde teplotného indexu sa venovali van den Broeke a kol. (2010).

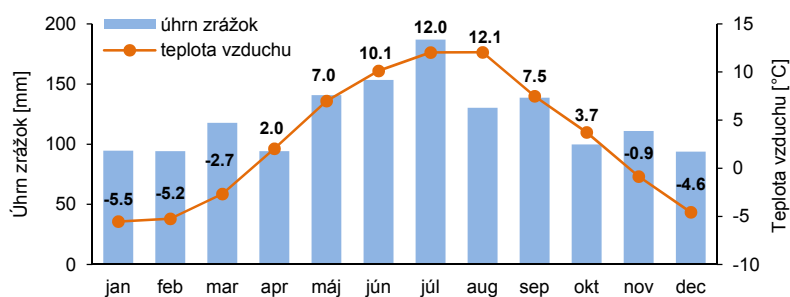
Najkorektnjším spôsobom určenia teplotného faktora je použitie meraných údajov o poklese vodnej hodnoty snehu a teplote vzduchu. Na získanie dostatočného počtu hodnôt teplotného faktora, reprezentujúceho jeho veľkosť a časovú variabilitu na danej lokalite, je potrebné dlhé obdobie (niekoľko sezón, čím je sa zvyšuje časová náročnosť). Cieľom tohto príspevku bolo porovnanie vplyvu a časovej variability teplotného faktora na simuláciu vodnej hodnoty snehu.

Obrázok 1. Horská časť povodia Jaloveckého potoka, otvorená plocha Červenec, SPA označuje polohu automatickej snehomernej váhy.



Obrázok 2. Dlhodobé mesačné úhrny zrážok a dlhodobá priemerná mesačná teplota vzduchu na lokalite Červenec za obdobie 1988–2017.

Figure 2. Long-term monthly rainfalls and monthly air temperatures at the study site Červenec for period 1988–2017.



MATERIÁL A METÓDY

Záujmové územie a vstupné údaje

V štúdiu boli použité údaje z lokality Červenec v nadmorskej výške 1500 m n. m., ležiacej v horskom povodí Jaloveckého potoka v Západných Tatrách (Obr. 1).

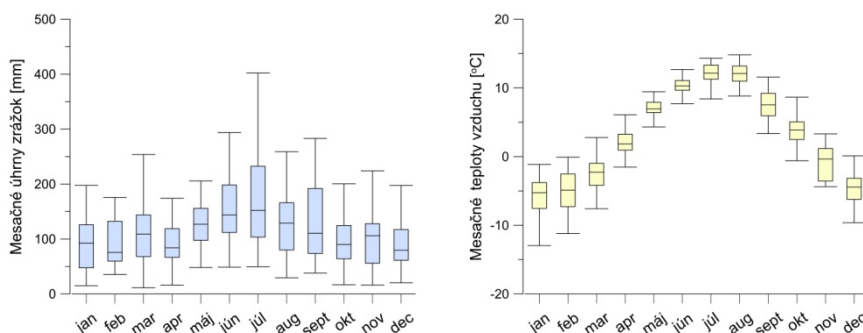
Údaje o zrážkach a teplotách vzduchu sú na lokalite merané od roku 1988, čo predstavuje 30 ročný kontinuálny rad údajov. Z ich analýzy bol zistený priemerný ročný zrážkový úhrn, ktorý je 1450 mm. Najnižší ročný úhrn zrážok bol zaznamenaný v roku 2003 (1086 mm) a najvyšší v roku 2010 s hodnotou 1984 mm. Na obrázku 2 sú uvedené dlhodobé mesačné úhrny zrážok za obdobie 1988–2017 a ich rozptyl je zobrazený na obrázku 3A. Priemerná ročná teplota vzduchu za pozorované obdobie bola stanovená na 3,0 °C, kde priemerná ročná teplota vzduchu v teplom polroku (od apríla do septembra) bola 8,7 °C a v chladnom polroku (od októbra do marca) –2,8 °C. Rozptyl priemerných mesačných teplôt je zobrazený na obrázku 3B. Vstupnými údajmi boli údaje o vodnej hodnote snehu z expedičných (manuálnych) snehomerných meraní od roku 1989 do 2015. Hodnoty od roku 2016–2017 z automatických meraní pomocou snehomernej váhy (Sommer SSG-2, plocha - 7 panelov po 80 x 120 cm = 6,72 m², presnosť - 0,3 %) (Obr. 1 a 4) sa použili na overenie simulácií vodnej hodnoty snehu (VHS). Teplota vzduchu bola meraná priamo na lokalite.

Obrázok 3.

A: Rozptyl mesačných zrážkových úhrnov, B: mesačných teplôt vzduchu za obdobie 1988 – 2017; grafy ukazujú maximum, tretí, druhý a prvý kvartil a minimum.

Figure 3.

A: The variance of monthly precipitation totals, B: monthly air temperatures for the period 1988 – 2017; the charts show maximum, third, second and the first quartile and minimum.



Obrázok 4.

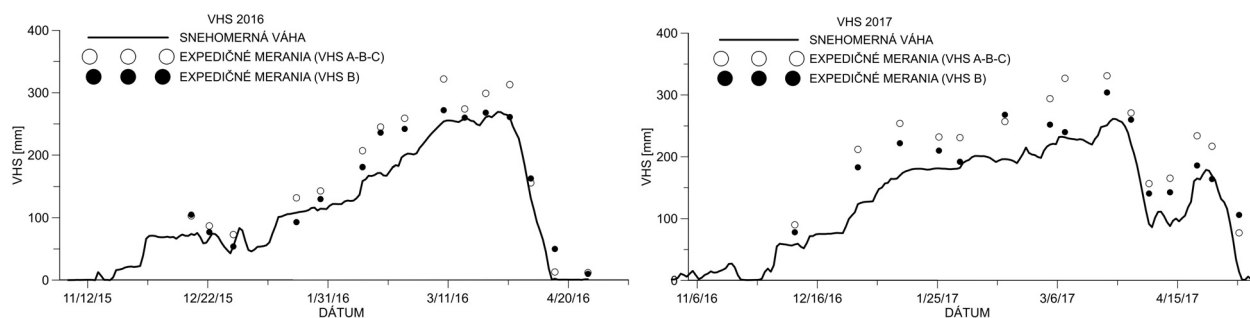
Meracia technika na lokalite Červenec; zľava: automatická snehomerná váha, váhový zrážkometer, automatická meteostanica (od roku 2011), zrážkometer Metra (manuálne merania), totalizátor, snehomerná lata.

Figure 4.

Measurement equipment at the site of Červenec; from left to right: snow scale, weighted rain gauge, automatic weather station (since 2011), standard rain gauge Metra (manual readings), storage gauge, snow stake.

Obrázok 5. Porovnanie ručne meranej VHS so snehomernou váhou na Červenci v zimnej sezóne 2016 a 2017.

Figure 5. Comparison of the manually and automatically measured SWE (snow course-snow scale) in the winter seasons 2016 and 2017.



V príspevku bola analyzovaná vodná hodnota snehu z expedičných (terénnych) meraní, ktoré sa vykonávajú v danej lokalite od zimy 1988 (napr. Holko a Kostka, 2008). Do roku 1996 sa však merania nevykonávali počas celej sezóny. V tejto práci sme preto spracovali obdobie 1996–2015. Na lokalite sa vykonávajú merania na troch 20 m dlhých snehomerných profiloch (viď Profil „A“, „B“, „C“ na obrázku 1), pričom výška snehu sa meria na 20 bodoch a hustota na jednom bode v strede každého profilu. Od roku 2016 je na lokalite osadená aj automatická snehomerná váha.

Na obrázku 5 sú vykreslené priebehy VHS na Červenci v rokoch 2016 a 2017. Hodnota (VHS A-B-C) je priemerná hodnota z troch manuálne meraných profilov A-B-C. Označenie VHS B má profil, ktorý sa nachádza

najbližšie k automatickej snehomernej váhe (približne 5 metrov). Rozdiely medzi manuálne meranou priemernou VHS a automatickou snehomernou váhou sa pohybujú v priemere o 20 % vyššie (zima 2016), pričom rozsah bol od +6 do +30 %. V roku 2017 boli rozdiely ešte o niečo výraznejšie, ručne meraná VHS bola v priemere o 30 % vyššia oproti snehomernej váhe a rozsah sa pohyboval od 19 do 47 %. Pre profil VHS B a snehomernú váhu boli rozdiely o niečo nižšie – v zime 2016 to bolo v priemere 10 % (od +29 % do –16 %) v roku 2017 v priemere 18 % (od +38 % do –3 %). Manuálne merané hodnoty dobre vystihujú časovú variabilitu VHS. Za reprezentatívne merania VHS považujeme dlhodobé ručné expedičné merania, na druhej strane snehomerná váha ukazuje detailnejší (denný) priebeh akumulácie a topenia snehovej pokrývky.

Metóda teplotného indexu

Metóda teplotného indexu je založená na vzťahu medzi teplotou vzduchu a abláciou (množstvom odtopenej snehovej pokrývky). Pri tejto metóde sa predpokladá lineárna závislosť medzi úbytkom snehovej pokrývky a rozdielom medzi priemernou dennou a kritickou teplotou začiatku topenia snehu. Najjednoduchšie a najčastejšie vyjadrenie vzťahu topenia snehovej pokrývky a teploty vzduchu je:

$$\begin{cases} M = m_f \cdot (T_i - T_k) & T_i > T_k \\ M = 0 & T_i \leq T_k \end{cases} \quad (1)$$

kde: M – množstvo roztopeného snehu v danom dni [mm.d⁻¹],

m_f – teplotný faktor [mm.°C⁻¹.d⁻¹],

T_i – priemerná denná teplota vzduchu [°C],

T_k – kritická teplota, teplota pri ktorej dochádza k topeniu snehu [°C].

Pri určovaní priemernej dennej teploty (T_i) sa môže vychádzať z priemeru maximálnej a minimálnej teploty vzduchu (meranej napr. maximálnym a minimálnym teplomerom) alebo z priemernej teploty vypočítanej z hodinových hodnôt.

Kritická teplota (T_k) je predpokladaná teplota topenia snehovej pokrývky, a najčastejšie sa používa hodnota 0 °C. Niektorí autori odporúčajú použiť kritickú teplotu +1 °C a Singh (2001) na základe výsledkov zo svojich štúdií preferuje kritickú teplotu +2 °C. Pri kolísaní dennej teploty okolo bodu mrazu, môže vzniknúť situácia, kedy je priemerná denná teplota vzduchu negatívna a podľa metódy teplotného faktora by v danom dni nenastalo topenie snehu, aj keď v skutočnosti sa sneh v niektorých hodinách môže topiť.

Teplotný faktor (m_f), sa mení v čase v priebehu zimnej sezóny, tak ako sa mení štruktúra a hustota snehu a atmosférické podmienky. Jeho hodnota sa najčastejšie získava z dostupných pozorovaných údajov VHS a teploty vzduchu úpravou rovnice (1). Podľa Martinca (1977) sa môže získať teplotný faktor ako násobok podielu hustoty snehu a hustoty vody :

$$m_f = 1,1 \cdot (\rho_s / \rho_w), \quad (2)$$

kde: m_f – teplotný faktor [cm.°C⁻¹.deň⁻¹],

ρ_s a ρ_w – hustota snehu a hustota vody [kg.m⁻³].

Vzťah predovšetkým poukazuje na vzostupnú tendenciu teplotného faktora v priebehu topenia vďaka závislosti na hustote snehu, ktorá sa v priebehu časom zvyšuje. Aj Kuusisto (1980) navrhol určovanie teplotného faktora z hustoty snehu a odvodiť empirické rovnice pre topenie snehu na otvorenej ploche:

$$m_f = 0,0104 \cdot \rho_s - 0,70 \quad (3)$$

a v lese:

$$m_f = 0,0196 \cdot \rho_s - 2,39, \quad (4)$$

kde: m_f – teplotný faktor [cm.°C⁻¹.deň⁻¹],

ρ_s – hustota snehu [kg.m⁻³].

Rozsah teplotného faktora je podľa údajov z literatúry vysoký (0,1–9,9 mm.°C⁻¹.deň⁻¹) pre rôzne lokality, avšak dôležitý je ich spôsob stanovenia, merania a modelovania (podrobnejšie Hock, 2003). Neexistuje všeobecné kritérium výberu, resp. jeho rozsahu pre územie, výškové zóny (Fraz Ismail, a kol., 2015). Teplotný faktor výrazne ovplyvňuje napríklad už spomínaný lesný porast. Les svojím zatienením obmedzuje príjem tepla snehovej pokrývky a tým spomaľuje proces topenia (Jeníček, 2009). DeWalle a Rango (2008) popísal aj ďalšie faktory vstupujúce, či už pozitívne alebo negatívne do jeho hodnoty, okrem činiteľov ako sezónny vplyv, otvorená plocha/les, teplota vzduchu, taktiež vplýva aj reliéf, plošné pokrytie snehovej pokrývky, oblačnosť a zrážky (dodávajú teplo). V oblastiach, kde sú teplotné toky výrazne ovplyvňované sublimáciou môžeme očakávať výrazne nižšie hodnoty teplotného faktora.

Ak sa pri výpočte teplotného faktora z meraných údajov vyskytnú zrážkové dni, treba uvažovať o úprave teplotného faktora. V tejto štúdii sa aplikovala možnosť odstránenia topenia spôsobeného dažďom ako vedľajšieho efektu od teplotného faktora podľa Singh (2001).

$$m_f' = m_f + 0,0126 \cdot P, \quad (5)$$

kde: m_f' – teplotný faktor s vplyvom dažďových zrážok [mm.°C⁻¹.deň⁻¹],

m_f – teplotný faktor bez vplyvu topenia spôsobeného dažďom [mm.°C⁻¹.deň⁻¹],

P – úhrn zrážok [mm].

Výpočet teplotného faktora z terénnych meraní

V prvom kroku porovnáme hodnoty teplotného faktora z bezzrážkového obdobia s obdobím s výskytom zrážky pre obdobie 1996 až 2015. Pri spracovaní teplotného faktora (m_f) sa najskôr vybrali udalosti topenia snehu ($T_i > T_k$), kde sa nevyskytli zrážky. Následne boli spracované aj udalosti topenia snehu (kladný rozdiel medzi vodnou hodnotou medzi dvomi meraniami) s výskytom zrážky. V prípade udalostí so zrážkami bol výpočet teplotného faktora upravený na základe rovnice (5), pričom maximálny kumulatívny úhrn zrážok nesmel prekročiť hodnotu 40 mm.

Overenie teplotného faktora a simulovanie vodnej hodnoty snehu

Vypočítané teplotné faktory topenia snehu sa použili pri modelovaní vodnej hodnoty snehu počas zimy (november až máj), a to nasledovne:

- hodnota teplotného faktora je v celom období konštantná a rovná sa aritmetickému priemeru všetkých vypočítaných teplotných faktorov,
- hodnota teplotného faktora sa v každom mesiaci mení,
- hodnota teplotného faktora sa mení v dennom kroku.

Určenie mesačných a denných teplotných faktorov je podrobnejšie opísané vo výsledkoch. Pri určovaní teplotného faktora z meraných údajov sme uvažovali s kritickou

teplotou 0°C a $+1^{\circ}\text{C}$. Vyššie uvedené scenáre časovej zmeny teplotného faktora budú následne použité v indexovom modeli topenia snehu, ktorý vychádzal z rovnice (1). Celkový úhrn zrážok a priemerná denná teplota boli k dispozícii zo stanice na Červenci. Výpočet vodnej hodnoty snehu pre každý deň bol vypočítaný podľa nasledujúcej rovnice:

$$VHS = VHS_{(n-1)} - M + H_z, \quad (6)$$

kde: VHS – vodná hodnota snehu v daný deň [mm],
 $VHS_{(n-1)}$ – vodná hodnota snehu v predchádzajúcom dni [mm],
 M – množstvo roztopeného snehu v danom dni [mm],
 H_z – úhrn zrážok v danom dni [mm].

Na porovnanie (validáciu) časového priebehu simulácie VHS bol použitý koeficient korelácie (R^2) medzi simulovanou a meranou VHS a na určenie presnosti simulácie (porovnania veľkosti meranej a simulovanej VHS) bol použitý koeficient Nash-Sutcliffe (1970). Validácia bola urobená pre zimy 2016 – 2017, t.j. pre obdobie, ktoré je zámerne iné, ako bolo obdobie, z ktorého boli údaje použité na určenie teplotných faktorov.

VÝSLEDKY

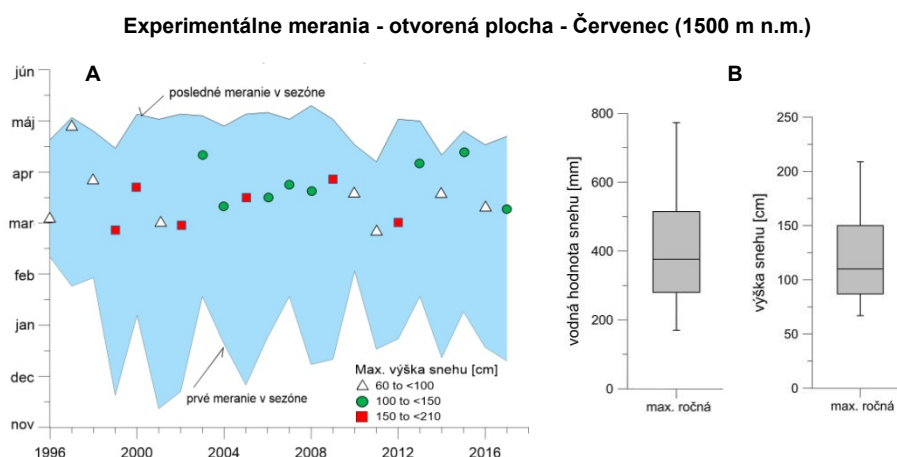
Zo spracovania expedičných meraní je na obrázku 6A uvedený prehľad začiatku a konca experimentálnych meraní v danej zime a výskytu maximálnej výšky snehu v rokoch 1996–2017. Maximálna vodná hodnota snehu sa na skúmanej ploche vyskytovala od polovice marca do polovice apríla. Zaujímavý je aj rozptyl maximálnej ročnej vodnej hodnoty snehu/výšky snehu (Obr. 6B).

Pri spracovaní teplotného faktora (m_f) sa najskôr vybrali obdobia topenia snehu ($T_i > T_k$), počas ktorých sa nevyskytli zrážky, čo predstavovalo 18 bezzrážkových období. Následne boli spracované aj obdobia topenia snehu počas ktorých sa vyskytli zrážky (78 prípadov). Pri výpočte teplotného faktora boli uvažované iba dni s kladnou priemernou dennou teplotou vzduchu, kedy je predpoklad topenia snehu. Hodnoty teplotného faktora určeného pre obdobia, v ktorých sa počas topenia nevyskytovali zrážky, aj pre obdobia, kedy počas topenia snehu boli zrážky zaznamenané, sú znázornené na obrázku 7. Obrázok ukazuje, že väčšina teplotných faktorov reprezentuje obdobie od druhej polovice marca do konca apríla. Regresné rovnice vyjadrujúce priebeh teplotného faktora v čase vypočítaného pre bezzrážkové aj zrážkové obdobia (Obr. 7 a 8) sú podobné.

Obrázok 6. A: Dátum prvého a posledného merania snehovej pokrývky, B: rozptyl maximálnej výšky a vodnej hodnoty snehu za obdobie 1996–2017; grafy vychádzajú z údajov, meraných v 1–2 týždňovom kroku.

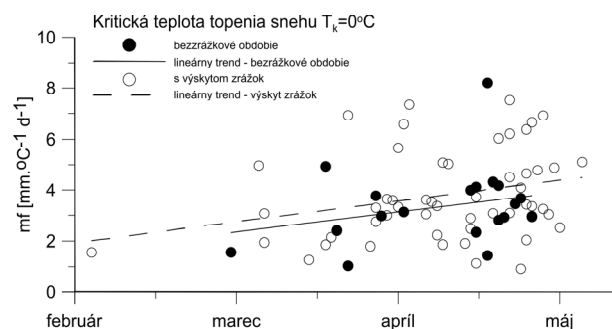
Figure 6.

A: Dates of the first and last measurements of snow cover,
 B: variance of maximum annual snow depth and snow water equivalent for the period 1996–2017; charts are based on data measured in 1–2 week time steps.



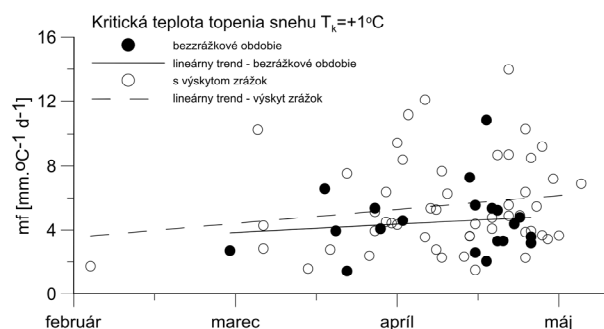
Obrázok 7. Teplotný faktor získaný pri kritickej teplote topenia 0°C , vypočítaný pre obdobia so zrážkovými udalosťami a bez nich.

Figure 7. Degree-day factor calculated for threshold air temperatures of the beginning of snowmelt 0°C using data from precipitation-free periods and also for periods with precipitation.



Obrázok 8. Teplotný faktor získaný pri kritickej teplote topenia $+1^{\circ}\text{C}$, vypočítané pre obdobia so zrážkovými udalosťami a bez nich.

Figure 8. Degree-day factor calculated for threshold air temperatures of the beginning of snowmelt $+1^{\circ}\text{C}$, comparing the precipitation and non-precipitation events



Na základe týchto výsledkov boli pri ďalšom spracovaní použité teplotné faktory, vypočítané aj pre obdobia s výskytom zrážok.

Obrázky 7 a 8 ukazujú, že pri určovaní teplotného faktora iba z období, počas ktorých pri topení snehu neboli zaznamenané vyššie zrážkové úhrny, bol počet údajov dosť obmedzený (18), ale rozptyl získaných hodnôt bol menší. Ak sa do výpočtu zahrnuli aj obdobia so zrážkami, počet údajov výrazne vzrástol (78), ale narástol aj rozptyl vypočítaných hodnôt teplotného faktora. Teplotný faktor v priebehu topenia snehu pri oboch spôsoboch výpočtu mierne narastal.

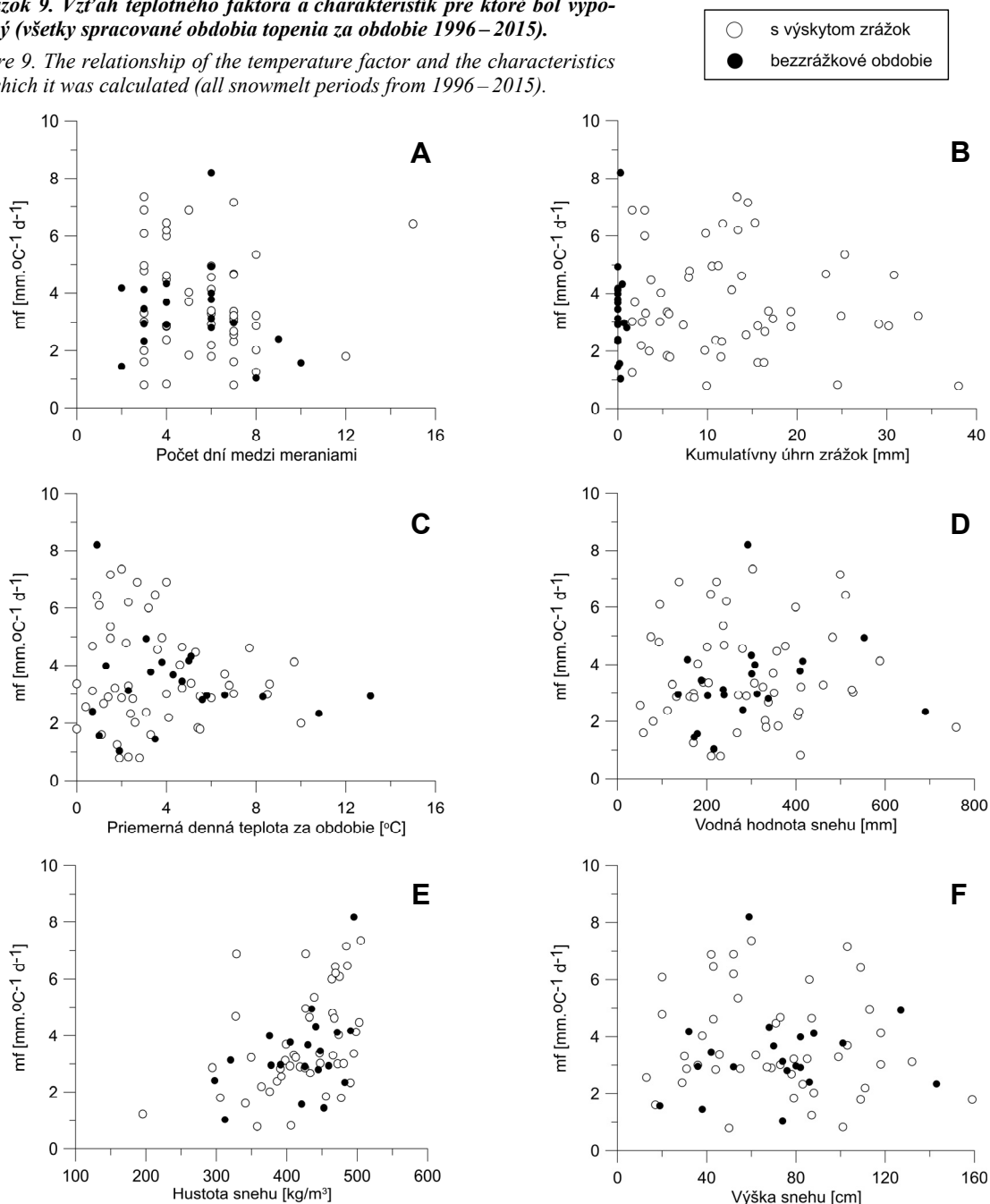
Vzťah medzi teplotným faktorom, klimatickými charakteristikami a charakteristikami snehovej pokrývky je

znázornený na obrázku 9. Významnejší vzťah bol zistený len medzi teplotným faktorom a hustotou snehu (Obr. 9E). Vplyv dĺžky obdobia (počtu dní), teploty vzduchu a úhrnu zrážok počas neho, ani vplyv vodnej hodnoty snehu na veľkosť vypočítaného teplotného faktora nebol zistený.

V tabuľke 1 sú uvedené rozsahy a hodnoty teplotného faktora (obdobie 1996–2015), ktoré boli následne použité pri simuláciách VHS pre roky 2016 a 2017. Pre začiatok obdobia akumulácie snehovej pokrývky (november–december) merané údaje neumožnili výpočet teplotných faktorov. Preto sme pri simulácii VHS v týchto mesiacoch použili teplotný faktor rovnaký, ako pre koniec zimnej sezóny.

Obrázok 9. Vzťah teplotného faktora a charakteristík pre ktoré bol vypočítaný (všetky spracované obdobia topenia za obdobie 1996–2015).

Figure 9. The relationship of the temperature factor and the characteristics for which it was calculated (all snowmelt periods from 1996–2015).



Tabuľka 1. Hodnoty konštantného a mesačného teplotného faktora použitého pri simulácii vodnej hodnoty snehu v zime 2016 a 2017.

Table 1. The values of constant and monthly temperature factors used in snow water equivalent simulations in winters 2016 and 2017.

Dátum	01.11.	31.12.	01.01.	31.03.	01.04.	30.04.	01.05.	31.05.
$T_k = 0^\circ\text{C}$	3,48							
	4,17		2,88		3,93		4,17	
$T_k = +1^\circ\text{C}$	5,02							
	5,9		4,73		5,46		5,9	

Tabuľka 2. Rovnice pre výpočet premenlivého teplotného faktora (x – číslo dňa v hydrologickom roku, y – hodnota faktora).

Table 2. Equations for calculation of variable degree-day factors (x – the number of the day in hydrological year, y – the degree-day value).

Od	Do	Rovnica $T_k = 0^\circ\text{C}$	Rovnica $T_k = +1^\circ\text{C}$
01.11.	09.12.	$y = -0,0385x + 5,0385$	$y = -0,0333x + 7,0333$
09.12.	03.02.	$y = -0,0238x + 4,2619$	$y = -0,0882x + 10,382$
03.02.	10.03.	$y = 0,0147x + 0,6029$	$y = 0,0529x - 3,0294$
10.03.	28.03.	$y = 0,0368x - 2,2526$	$y = 0,0211x + 1,0842$
28.03.	05.04.	$y = 0,125x - 15,3$	$y = 0,1625x - 19,85$
05.04.	15.04.	$y = 0,02x + 1,08$	$y = 0,03x + 0,82$
15.04.	30.04.	$y = 0,0133x + 2,1867$	$y = 0,0133x + 3,5867$
30.04.	15.05.	$y = 0,02x + 0,98$	$y = 0,0133x + 3,5867$
15.05.	30.05.	$y = 0,0067x + 3,5933$	$y = 0,0067x + 4,8933$

Tabuľka 3. Hodnoty koeficienta korelácie R^2 v porovnaní s hodnotami zo snehomernej váhy.

Table 3. Correlation coefficient R^2 values compared to snow-weighing scale data.

Obdobie	Kritická teplota topenia $T_k = +1^\circ\text{C}$			Kritická teplota topenia $T_k = 0^\circ\text{C}$		
	PF	KF	MF	PF	KF	MF
2016	0,958	0,928	0,903	0,939	0,915	0,928
2017	0,948	0,929	0,955	0,941	0,893	0,923
Priemer	0,953	0,929	0,929	0,940	0,904	0,925

Poznámka: PF – premenlivý faktor, KF – konštantný faktor, MF – mesačný faktor

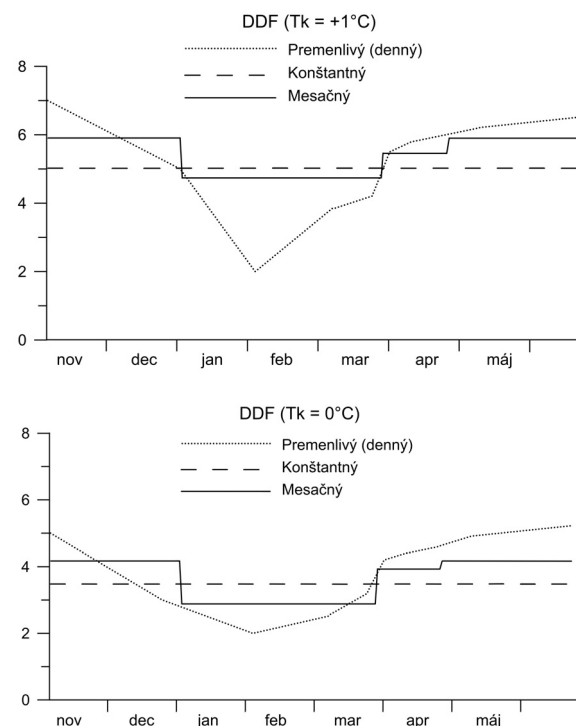
Priebeh premenlivého teplotného faktora v dennom kroku bol stanovený z expedičných meraní (1996–2015). Jeho priebeh sa skladá z niekoľkých priamok, ktoré na seba nadväzujú a vytvárajú tak plynulú závislosť medzi teplotným faktorom a časom. Čas je charakterizovaný poradovým číslom dňa v hydrologickom roku, číslo 1 pripadá na prvý november a 214 pripadá na prvý jún. Priebeh denných teplotných faktorov je graficky znázornený na obrázku 10.

Simulácie vodnej hodnoty snehu s teplotnými faktormi, znázornenými na obrázku 10 sú ukázané na obrázkoch 11 a 12 a v tabuľke 3.

Tabuľka 3 ukazuje najvyššie dosiahnuté hodnoty korelácie pre simulovanú VHS počítanú s premenlivým denným teplotným faktorom pre obe kritické teploty topenia ($T_k = +1^\circ\text{C}$ a 0°C).

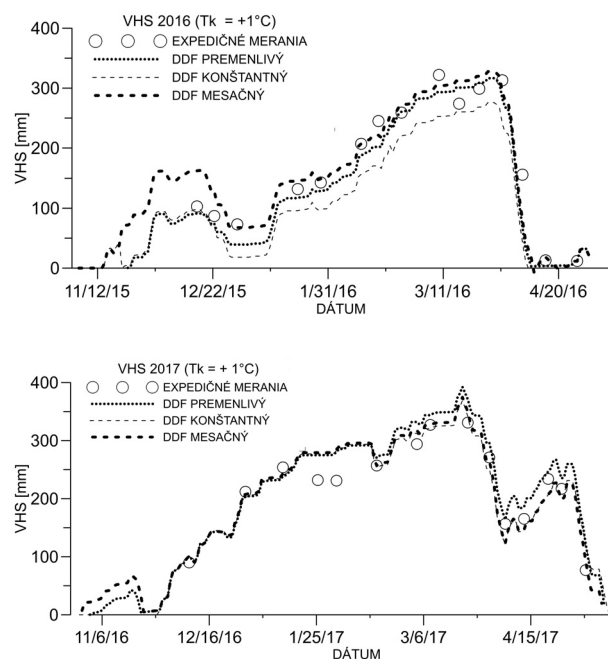
Obrázok 10. Časové priebehy teplotného faktora pre kritickú teplotu topenia snehu $+1^\circ\text{C}$ a 0°C

Figure 10. Temporally variable temperature factors for the threshold temperature of the snowmelt beginning $+1^\circ\text{C}$ and 0°C .



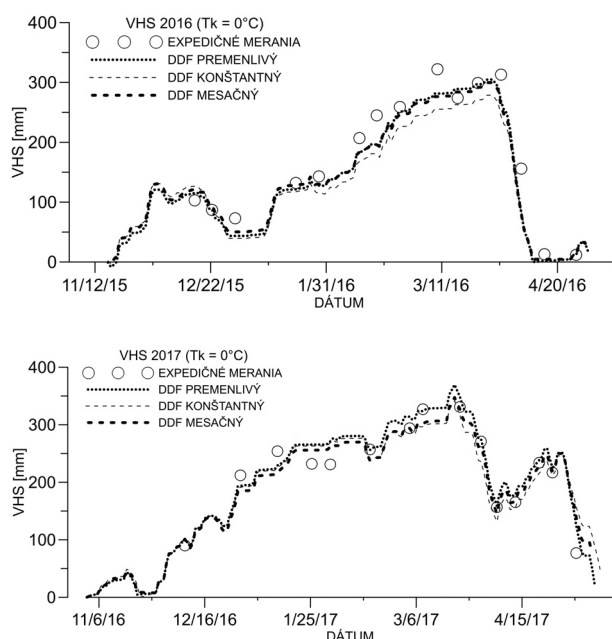
Obrázok 11. Priebeh simulácie akumulácie a topenia snehu pri rôznych teplotných faktoroch pre kritickú teplotu topenia snehu $+1^\circ\text{C}$.

Figure 11. The simulation of snow accumulation and melting for various temperature factors and the threshold snow melting temperature $+1^\circ\text{C}$.



Obrázok 12. Pribeh simulácie akumulácie a topenia snehu pri rôznych teplotných faktoroch pre kritickú teplotu topenia snehu 0 °C.

Figure 12. The simulation of snow accumulation and melting for various temperature factors and the critical snow melting temperature 0 °C.



Tabuľka 4. Hodnoty koeficienta Nash-Sutcliffe v porovnaní s ručne meranými údajmi.

Table 4. Nash-Sutcliffe coefficient values compared to manually measured data.

Obdobie	Kritická teplota topenia $T_k = +1\text{ °C}$			Kritická teplota topenia $T_k = 0\text{ °C}$		
	PF	KF	MF	PF	KF	MF
2016	0,907	0,745	0,907	0,912	0,839	0,905
2017	0,866	0,890	0,688	0,919	0,832	0,901
Priemer	0,887	0,818	0,798	0,916	0,835	0,903

Poznámka: PF – premenlivý faktor, KF – konštantný faktor, MF – mesačný faktor

Obrázky 11, 12 a tabuľka 4 ukazujú, že lepšie výsledky boli získané pri uvažovanej kritickej teplote topenia snehu 0 °C. Premennivý denný teplotný faktor v tejto štúdii vedie k najlepším simuláciám VHS v obidvoch sledovaných rokoch aj pri obidvoch kritickej teplotách topenia snehu. Aj ostatné teplotné faktory však dali použiteľné výsledky. Pri použití kritickej teploty topenia snehu 0 °C boli medzi simulovanou a meranou VHS menšie rozdiely ako pri kritickej teplote +1 °C. Simulácie VHS s konštantným a mesačným teplotným faktorom a kritickej teplotou topenia snehu +1 °C sa relatívne najviac líšili od meraných hodnôt. Použitie mesačného teplotného faktora v zime 2016 viedlo k výraznému nadhodnoteniu simulovanej VHS. Konštantný teplotný faktor naopak podhodnotoval VHS v období na začiatku akumulácie snehu v roku 2016, ale v zime 2017 dali mesačný aj konštantný teplotný faktor podobné simulácie VHS.

Porovnanie presnosti simulácii pomocou koeficientu Nasha a Sutcliffea (NS) ukázali, že všetky použité teplotné faktory dávali porovnateľné výsledky. Hodnoty NS sa pohybovali od 0,688 do 0,919. Najlepšie výsledky boli opäť získané s premenlivým denným teplotným faktorom. Najhorší výsledok dal mesačný teplotný faktor pre zimu 2017. Z pohľadu voľby kritickej teploty topenia snehu $T_k = 0\text{ °C}$ vychádzajú celkovo lepšie koeficienty Nash-Sutcliffe (v priemere 0,916) ako pre $T_k = +1\text{ °C}$ (priemer 0,887).

DISKUSIA

Hlavným cieľom práce bolo porovnanie vplyvu a časovej variability teplotného faktora na simuláciu vodnej hodnoty snehu z expedične (manuálne) meranej VHS v období rokov 1996–2015. Vypočítané teplotné faktory mali pomerne veľký rozptyl (0,9–8,2 mm.C⁻¹.d⁻¹), čo je v súlade s výsledkami iných štúdií. V odbornej literatúre môžeme nájsť viacero odporúčaní ohľadne rozsahu teplotného faktora. Napríklad, podľa DeWalle a Rango (2008) by sa mali vo všeobecnosti teplotné faktory pohybovať v intervale 1–8 mm.C⁻¹.d⁻¹ (pri $T_k = 0\text{ °C}$). Priemerné hodnoty faktora podľa Martinca (1960) by mali byť v rozmedzí 2,4–5 mm.C⁻¹.d⁻¹, Kuusisto (1980) konkrétne pre otvorenú plochu stanovil priemernú hodnotu na 3,5 mm.C⁻¹.d⁻¹. O niečo vyššie hodnoty získali vo svojich štúdiách Singh a Singh (2011).

Holko a kol. (2012) získali pre lokalitu Červenec z meraných údajov za obdobie 1989–2011 hodnoty teplotného faktora v rozmedzí od 0,5 do 9,8 mm.C⁻¹.d⁻¹ (medián 3,58 mm.C⁻¹.d⁻¹), ktoré boli v porovnaní s výpočtom podľa Martinca o niečo nižšie. V našej štúdii boli použité na výpočet teplotného faktora aj údaje zo zrážkami, kým Holko a kol. (2012) použili len bezzrážkové obdobia. Hlavným dôvodom, prečo sme pristúpili k získaniu teplotného faktora aj zo zrážkových období bolo, že sme chceli získať väčší súbor údajov (spolu bolo získaných 78 teplotných faktorov, z toho 18 z bezzrážkového obdobia). Z porovnania lineárnej regresie týchto dvoch súborov bol trend podobný a rozdiel v mediáne zanedbateľný. Hodnota mediánu teplotného faktora bola 3,06 mm.C⁻¹.d⁻¹ z bezzrážkových období a s obdobiami s výskytom zrážok bol jeho medián 3,40 mm.C⁻¹.d⁻¹. Týmto bola aj otestovaná možnosť použitia úpravy teplotného faktora pri výskyte zrážky podľa Singha (2001). V 20 ročnom súbore spracovaných dát tejto práce sa bezzrážkové obdobie medzi spracovanými meraniami VHS vyskytlo iba v rokoch 1996, 1999–2004, 2006, 2008–2009, 2012–2014, čo poukazuje na výsledné teplotné faktory iba zo 14-tich rokov. Použitím úpravy teplotného faktora podľa Singha (2001) sme dosiahli väčší súbor dát (78) a tým bol určený teplotný faktor v každom roku zo spracovaného obdobia 1996–2015.

Kritická teplota (T_k) pre výpočet, pri ktorej začína proces topenia snehu bola zvolená na 0 a +1 °C, čo spadá do intervalu 0–2 °C, ktorý odporúča viacerých autorov, napr. Singh (2001), Kutlákova a Jeníček (2012) a ďalší. V tejto predkladanej práci na základe získaných výsledkov z rokov 1996–2015 a presnosti výsledkov zo simulácii sa javí lepšia hodnota kritickej teploty topenia snehu na hranici 0 °C.

Stanovenie vodnej hodnoty snehu je jedna z najčastejšie meraných, prípadne kalibrovaných charakteristík snehovej pokrývky, a v literatúre sú často porovnávané. Hodnoty teplotného faktora, v štúdií Bartík a kol. (2019), ktoré boli vypočítané pre tú istú lokalitu a pre obdobie maximálnej intenzity topenia snehu v období 18.–28.4. 2013 na základe meraných údajov boli $2,6 \text{ mm} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ a na základe kalibrácie modelu $2,4 \text{ mm} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. V tejto štúdii bola hodnota teplotného faktora pre mesiac apríl na základe dlhodobého meraných údajov vyššia ($3,9 \text{ mm} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), ale konkrétne pre mesiac apríl v roku 2013 bol získaná hodnota $2,9 \text{ mm} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, čo je porovnateľné s výsledkami spomenutej štúdie Bartík a kol. (2019).

Pri vyhodnotení výsledkov pri väčšine merateľných charakteristík treba brať do úvahy aj nedostatky, resp. neistoty, ktoré mohli vzniknúť pri zbere údajov a pri ich spracovávaní. Metódu teplotného indexu využíva mnoho hydrológov, predovšetkým pre jej jednoduchosť a dostupnosť potrebných údajov. Jej získavanie z terénnych meraní z dlhšieho obdobia má však isté obmedzenia. Teplotný faktor je empiricky určená hodnota, ktorá môže platiť len pre lokalitu, pre ktorú bola získaná. Pre inú lokalitu alebo možno aj pre tú istú lokalitu, ale rôzne roky, môže nadobúdať iné hodnoty a jedna univerzálna hodnota neexistuje. Aj tieto faktory sa do istej miery prejavili aj na našich simuláciách, avšak časový priebeh simulovaných VHS zodpovedal meranému vývoju snehovej pokrývky.

ZÁVER

Dôležitosť topenia snehu pre hydrologický cyklus a vodné hospodárstvo si vyžaduje zlepšovanie presnosti modelovania VHS v jarnom období. V tejto práci sme porovnali vplyv časovej variability teplotného faktora (TF) na výsledok simulácie, ktorý je jedným z dvoch parametrov v často používanom modeli topenia snehu. Druhým parametrom je kritická teplota topenia snehu. Porovnanie modelovanej a simulovanej VHS na lokalite Červenec v Západných Tatrách ukázalo, že pre obdobie akumulácie a topenia snehu boli najlepšie výsledky získané pre kritickú teplotu topenia snehu 0°C a časovo premenlivý TF (v dennom kroku). Uspokojivé výsledky však boli získané aj pre TF meniaci sa v mesačnom kroku, ale aj pre výsledky získané s konštantným TF. Priemerné hodnoty TF získané pre jednotlivé mesiace rôznymi metódami, môžu byť použité ako počiatočné hodnoty pri modelovaní VHS na južnej strane Západných Tatier. Vzhľadom na to, že teplotný faktor je parametrom, ktorý sa mení v priestore aj čase, bude potrebné overenie použiteľnosti týchto počiatočných hodnôt modelovaním VHS pre iné lokality a zimy. Pre určenie najvhodnejšej sady parametrov teplotného faktora je potrebné ďalšie simulovanie VHS na viaceré (napr. sezónne) rady údajov. Dosiahnuté hodnoty teplotného faktora v tejto práci za dlhodobé obdobie môžu byť vhodné ako prvotné vstupné hodnoty pri modelovaní snehu v horských povodiach aj pre ďalšie podobné štúdie. Pre detailné simulovanie snehu v jednotlivých zimách je vhodné pri modelovaní VHS teplotný faktor kalibrovat'.

Podakovanie

Údaje, použité v tejto práci, boli získané vďaka podpore z projektov 26210120009 „Dobudovanie infraštruktúry hydrologických výskumných staníc“ (DIHYS) v rámci výskumného a vývojového operačného programu Európskeho fondu regionálneho rozvoja (ERDF). Práca bola podporená z projektov VEGA 2/0055/15 a APVV-15-0497.

LITERATÚRA

- Anderson, H.W., 1963, *Managing California's Snow Zone Lands for Water*. U.S. Forest Service Research Paper PSW-6, 28 p.
- Bartík, M.–Holko, L.–Jančo, M.–Hlavčo, J.–Škvarenina, J.–Danko, M.–Kostka, Z., 2019, Influence of mountain spruce forest die back on snow accumulation and melt. *J. Hydrol. Hydromech.*, 67, 2019, 1, 59–69, DOI: 10.2478/johh-2018-0022.
- Bartík, M.–Sitko, R.–Oreňák, M.–Slovik, J.–Škvarenina, J., 2014, Snow accumulation and ablation in disturbed mountain spruce forest in West Tatra Mts. *Biologia (Bratislava)*, 69, 1492–1501, <https://doi.org/10.2478/s11756-014-0461-x>.
- Dewalle, D.R.–Rango, A., 2008, *Principles of snow hydrology*. Cambridge University Press, Cambridge, 410 p.
- Fraz Ismail, M.–Habib-ur-Rehman M.–Bogacki, W.–Muhammad, N., 2015, Degree day factor models for forecasting the snow melt runoff for Naran watershed, *Sci. Int. (Lahore)*, 27(3), 1951–1960.
- Hürkamp, K.–Zentner, N.–Reckerth, A.–Weishaupt, S.–Wetzel, K.F.–Tschiersch, J.–Stumpp, Ch., 2019, Spatial and temporal variability of snow isotopic composition on Mt. Zugspitze, Bavarian Alps, Germany, *J. Hydrol. Hydromech.*, Vol. 67, No. 1, 2019, 49–58, doi: 10.2478/johh-2018-0019.
- Hock, R., 2003, Temperature index melt modelling in mountain areas, *Journal of Hydrology*, Vol. 282, Issues 1–4, 104–115, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00257-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00257-9).
- Holko, L.–Kostka, Z.–Parajka, J., 2001, Snehová pokrývka, *Životné prostredie*, Vol. 35, No. 3, 138–141.
- Holko, L.–Kostka, Z., 2008, Hydrological characteristics of snow cover in the Western Tatra Mountains in winters 1987–2008. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica*, vol. XXXIX 2008: 63–77.
- Holko, L.–Danko, M.–Kostka, Z., 2012, Klasifikácia zím, hustoty nového snehu a teplotný faktor topenia snehovej pokrývky v povodí Jaloveckého potoka, *Acta Hydrologica Slovaca*, Roč. 13, č. 2, 342–349.
- Jeníček, M., 2005, Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. In: Langhammer, J. (ed.) *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko*. PřFUK, Praha. 112–126.
- Jeníček, M., 2009, Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany (online). *Dizertační práce na PřF UK, Praha*, 141 s.
- Jeníček, M.–Pevná, H.–Matejka, O., 2015, Snow accumulation and ablation in threefold mountain catchments. *Acta Hydrologica Slovaca*, Roč. 16, 208–216.

- Jeníček, M.–Hotový, O.–Matějka O., 2017, Snow accumulation and ablation in different canopy structures at a plot scale: Using degree-day approach and measured short wave radiation, *AUC Geographica*, 52, No. 1, 61–72.
- Jost, G.–Weiler, M.–Gluns, D.R.–Alila, Y., 2007, The influence of forest and topography on snow accumulation and melt at the watershed-scale. *J. Hydrol.* 347, 101–115.
- Koivusalo, H.–Kokkonen, T., 2002, Snow processes in a forest clearing and in a coniferous forest. *Journal of Hydrology*, 262, 145–164.
- Krajčí, P.–Holko, L.–Parajka, J., 2016, Variability of snow line elevation, snow cover area and depletion in the main Slovak basins in winters 2001 – 2014. *J. Hydrol. Hydromechanics* 64, 12–22.
<https://doi.org/10.1515/johh-2016-0011>
- Kutláková, L.–Jeníček, M., 2012, Modelling Snow Accumulation and Snow Melt in the Bystřice River Basin. *Geografie*, 117, č. 1, 110–125.
- Kuusisto, E., 1980, On the values and variability of degree-day melting factor in Finland. *Nordic Hydrology*, 11, 235–242.
- Martinec, J., 1960, The degree-day factor for snow melt-runoff forecasting. *Proceedings General Assembly of Helsinki, Commission on Surface Waters, IASH Publ.*, 51, 468–477.
- Martinec, J., 1963. Short term forecasts of spring runoff on ground of temperature. *Vodohospodársky časopis* 11 (4), 361–377 (In Czech with an English abstract).
- Martinec, J., 1977, Expected snow loads on structures from incomplete hydrological data. *Journal of Hydrology*, 19, 185–195.
- Nash, J. E.–Sutcliffe, J.V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10, 282–290.
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Pugh, E.T.–Small, E.E., 2013, The impact of beetle-induced conifer death on stand-scale canopy snow interception, *Hydrology Research*, Volume 44, Issue 4, 644–657.
- Singh, P., 2001, *Snow and Glacier Hydrology*. Kluwer Academic Publisher, London, p. 742.
- Sleziak, P.–Szolgay, J.–Hlavčová, K.–Parajka, J., 2016, The Impact of the Variability of Precipitation and Temperatures on the Efficiency of a Conceptual Rainfall-Runoff Model, *Slovak Journal of Civil Engineering*, Vol. 24, No. 4, 1–7.
- Van den Broeke, M.C.–Bus, J.–Ettema, P.–Smeets, 2010, Temperature thresholds for degree – day modelling of Greenland ice sheet melt rates, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L18501.

VPLYV GEORELIÉFU NA MIKROKLÍMU VINOHRADOV PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA: TOPOĽČIANKY (SLOVENSKO)

VERONIKA ORŠULOVÁ¹, IGOR MATEČNÝ¹, MARIÁN JENČO¹, NORBERT POLČÁK^{1,2}

¹ Katedra fyzickej geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, veronika.orsulova@uniba.sk, igor.matecny@uniba.sk, marian.jenco@uniba.sk

² Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 83315 Bratislava, norbert.polcak@shmu.sk

In Slovakia, research of topoclimatic and microclimatic parameters in model areas of vineyards is a part of physical-geographic approaches within the terroir evaluation. In comparison with traditional geoecological approaches such as geomorphometric modelling and soil analysis, this approach is new. The research is based on data from automatic climatological stations located directly in the vineyard, as well as in a network of sensors whose localization considers the morphometric parameters of the vineyard. Geomorphometry itself, primarily represented by exposure, inclination, solar radiation and altitude, has an undeniable impact on the development of the microclimate in the vineyard. In the model area, significant differences in air temperature distribution within the individual positions were found, while the assessment was focused on temperature minimum. The impact of georelief on spatial distribution of minimum temperatures in relation to decrease in the drift as the cold temperature falls from slopes to lower altitudes as demonstrated in the vineyard, was clearly analysed. In this context, efforts are being made in the field of enological research to understand thoroughly the relationship between meteorological variables and the dynamics of crop development. Detailed data analyses enable precise monitoring of the microclimate in the vineyard and subsequent optimization of the location of the planting of individual vine varieties and the way they are managed. The results are presented in a model vineyard in the village of Topoľčianky owned by Château Topoľčianky.

Výskum topoklimatických a mikroklimatických parametrov na modelových územiach vinohradov je súčasťou fyzicko-geografických prístupov v rámci hodnotenia terroir v podmienkach Slovenska. V porovnaní s tradičnými geoekologickými prístupmi, ako napríklad modelovanie georeliéfu a analýza pôd, je tento prístup nový. Výskum sa opiera o údaje z automatických klimatologických staníc lokalizovaných priamo vo vinohrade, ako aj o sieť dataloggerov, ktorých lokalizácia zohľadňuje morfometrické parametre georeliéfu vinohradníckeho honu. Samotná morfometria georeliéfu, zastúpená predovšetkým expozíciou, sklonom, slnečnou radiáciou a nadmorskou výškou, má nespochybniteľný vplyv na vývoj mikroklimy vo vinohrade. V modelovom území boli demonštrované výrazné rozdiely distribúcie teploty vzduchu v rámci jednotlivých polôh, pričom hodnotenie bolo zamerané na teplotné minima. Popísaný vplyv georeliéfu na priestorové rozloženie teplotných miním súvisí predovšetkým so stekáním studeného vzduchu zo svahov do nižších polôh. Variabilita klimatických podmienok ovplyvňuje kvantitatívnu a kvalitatívnu produktivitu výroby a obchodný úspech každého vinárstva. V tejto súvislosti sa v oblasti enologického výskumu vyvíja úsilie o dôkladné pochopenie vzťahov medzi meteorologickými premennými a dynamikou vývoja plodín. Podrobná analýza dát umožňuje precízne sledovanie mikroklimy vo vinohrade a následnú optimalizáciu lokalizácie výsadby jednotlivých odrôd viniča a spôsobu ich obhospodarovania. Výsledky sú prezentované na modelovom vinohrade v obci Topoľčianky vo vlastníctve Château Topoľčianky.

Key words: canopy, microclimate, precision viticulture, Heliothermal Index, solar radiation, Topoľčianky

ÚVOD

Klimatické charakteristiky sú často považované za hlavné faktory, ktoré odrážajú kvalitatívny potenciál vinice. Vo vinohradníckom kontexte je pre regionálnu špecifickosť vinice zaužívaný pojem *terroir*, ktorý je vo všeobecnosti chápaný ako stanovište pre pestovanie révy vinnej, so všetkými faktormi, ktoré na ňu v prostredí pôsobia. Morlat (1989) vymedzuje tri základné zložky terroir: geologické faktory (geologické zloženie stanovišťa), pedologické faktory (druh a typ pôdy) a faktory stanovištné (georeliéf, nadmorská výška, expozícia a pod.), ktoré tvoria prirodzený základ terroir. Prirodzený základ terroir možno doplniť antropogénnymi faktormi spojenými s agrotechnickými zásahmi vo vinici (Pavloušek, 2011) alebo faktormi ako história (Seguin, 1986), kultúra, tradície a um vinohradníka (Tomasi et al., 2013).

Vinič hroznorodý (lat. *Vitis vinifera*) sa radí k teplo-milným drevinám, pestovateľské lokality sa nachádzajú najmä v subtropickom a miernom klimatickom pásme, za hornú hranicu rozšírenia sa považuje 50° severnej geografickej šírky na severnej pologuli. Z tohto pohľadu patrí Slovensko do oblasti tzv. *coolclimate*, spoločne s Českou republikou tvorí pomyselnú severnú hranicu oblasti pestovania viniča v Európe (Pavloušek, 2011).

Pre účely vinohradníctva sa rozlišujú tri skupiny klímy využívané k opisu stanovišťa (Pavloušek, 2011; Hoppmann et al., 2017). *Makroklima* vystihuje klimatické podmienky v rámci regiónu, v podmienkach Slovenska sa jedná o klimatické charakteristiky vinohradníckych rájónov. Počasie v regióne sa z roka na rok môže mierne meniť, ale dlhodobý trend je stabilný. Na popis makroklimy sa využívajú najmä mesačné, ročné a viacročné priemery hlavných klimatických veličín (napr. teplota vzduchu, zrážky,

slniečny svit, prúdenie vetra). *Mezoklíma* sa využíva na popis menších územných jednotiek, predovšetkým vinohradníckych obcí, často až vinohradníckych honov. Na popis sú využívané hodinové a denné údaje hlavných klimatických veličín. *Mezoklíma* je značne ovplyvnená morfológiou terénu, či prítomnosťou vodných plôch. *Mikroklíma* popisuje klimatické pomery priamo vo vinohrade na úrovni vnútra listovej steny. Je ovplyvnená orientáciou viničových radov voči svetovým stranám, sklonom svahu výsadby a samotnou architektúrou viničovej steny.

Dôkladné štúdium meteorologických premenných môže byť základným nástrojom pre hodnotenie kvality vína, keďže klimatické prvky sú považované za kľúčový faktor ovplyvňujúci kvalitu samotného hrozna. Mnohé indexy a ukazovatele vychádzajúce z klimatických dát (Winkler et al., 1974; Branäs, 1974; Huglin, 1978; Gladstones, 1992) sa dodnes často používajú pri hodnotení vinárskych zón, či regiónov, s dôrazom na vplyv environmentálnych parametrov na kvalitu vína a identifikáciu vhodných území s produkčným potenciálom, či naopak rizikom pestovania. Zatiaľ čo takéto indikátory možno považovať za primeranú reprezentáciu regionálnych klimatických podmienok, v značnej väčšine prípadov strácajú výpovednú hodnotu a efektivitu pri reprezentácii klimatických podmienok a ich variabilite vo vnútri vinohradu (Van Leeuwen a Seguin, 2006). Je to spôsobené práve absentujúcim zachytením dynamiky denného meteorologického cyklu, ktorý tvorí základ pre mikroklimatické hodnotenie. V oblasti precízneho riadenia vinohradov je preto prioritou mať prepracované nástroje na zber a spracovanie mikroklimatických dát.

Na Slovensku sa stále vo veľkej miere pre hodnotenie *terroir* vinohradu z hľadiska klimatických podmienok využívajú údaje zo siete staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu, ktoré však poskytujú informáciu len o makroklimáte vinohradníckeho regiónu. Využívanie rôznych meteorologických automatických a poloautomatických senzorov vo vinohradoch, ktoré dokážu zachytiť mezo- a mikroklimatické údaje, je relatívne novou problematikou. Zavádzanie nových technológií vo vinohradníctve umožňuje zlepšiť efektivitu a kvalitu produkcie, zefektívnením produkcie sa zároveň znižuje prípadný negatívny vplyv pestovania na životné prostredie (Ruiz-Garcia et al., 2009; Matese et al., 2014; Matese a Gennaro, 2015). Automatické bezdrôtové senzory umožňujú sledovať klimatické premenné v reálnom čase, vinohradníci sa z toho dôvodu dokážu operatívne adaptovať na zmenu podmienok (Burrell et al., 2004; Matese et al. 2014).

Mikroklima má výrazný vplyv na vývoj a zrelosť hroznových zhlukov, čo ovplyvňuje chuťový a aromatický potenciál ovocia a v konečnom dôsledku aj vína. Najdôležitejšími klimatickými faktormi pre vývoj viniča sú slnečné žiarenie, teplota vzduchu a vlhkosť, ktoré sú často variabilné už v rámci jedného honu (Smart et al., 1985; Spayd et al., 2002). Teplota vzduchu zásadne ovplyvňuje rast a vývoj viniča, je dôležitá najmä počas kvitnutia, keď sa rozhoduje o budúcej úrode. Nízka teplota v zimnom období (pod -15°C) spôsobuje poškodenie jednoročného dreva, veľmi nízka teplota (pod -25°C) i viacročného dreva (Záruba et al., 1985). Rozsah poškodenia viniča závisí

predovšetkým na dĺžke trvania mrazovej situácie, odolnosť voči poškodeniu závisí na vysadenej odrode a kondícii samotného dreva. Dostatok slnečného žiarenia je dôležitý pri fotosyntéze a dozrievaní hrozna. Voda je významná pri transporte látok ako základ všetkých fyziologických procesov, jej nadbytok spôsobuje nadmerný rast letorastov a náchylnosť na hubové ochorenia, nedostatok oslabenie rastu, odumieranie listov a malý rozvoj hrozna (Hoppmann et al., 2017). Silný vietor môže spôsobiť mechanické poškodenie viniča a veterné polohy majú špecifickú mikroklimu, chladnejšiu od okolia (Pavloušek, 2011).

Je dokázané, že vinič, ktorý má dostatok slnečného žiarenia, obsahuje vo svojej šťave, v porovnaní so zatienenými rastlinami, viac cukru a má nižšie pH (Gladstones, 1992; Haselgrove et al., 2000) Do chodu mikroklimatických ukazovateľov môžu zasiahnuť samotní vinohradníci, napríklad odstránením listov a orezaním rastliny, čím sa upraví množstvo dopadajúceho žiarenia. To má následne vplyv na teplotu a biochemické procesy v bobuli, napr. zvýšenie biosyntézy flavonoidov (Petrie et al., 2003; Pereira et al., 2006; Gregan et al., 2012). Odstránenie listov a následné zvýšenie dopadajúceho žiarenia môže znížiť výskyt a závažnosť niektorých ochorení, napr. hniloby (Percival et al., 1994).

Cieľom príspevku je porovnať teplotné pomery v rámci jednotlivých klimatických mierok vo vinohrade, pričom je pre vinohrad využitá najbližšia stanica SHMÚ reprezentujúca makroklimu, automatická stanica vo vinohrade reprezentujúca mezoklimu a sieť šiestich senzorov inštalovaných v listovej stene vinohradu reprezentujúca mikroklimu. Vplyv georeliéfu sa odrazí na úrovni mikroklimy.

Lokalizácia výskumného územia

Výskumné územie o rozlohe 57,91 ha vysadeného vinohradu sa nachádza v katastrálnom území obce Topoľčianky (okres Zlaté Moravce) v nadmorskej výške 235 – 305 m n. m. (Obr. 1). Jedná sa o vinohrad s vysadenou širokou škálou odrôd viniča: Veltínske zelené, Müller Thurgau, Rizling vlašský, Rulandské šedé, Rulandské modré, Dunaj, Cabernet Sauvignon, Svätovavrinecké, Frankovka modrá a Merlot. Z hľadiska geomorfometrie je územie značne heterogénne, zastúpené sú chrbtové aj dolinové polohy. Orientácia voči svetovým stranám je prevažne pre vinič vyhovujúca (južná, juhovýchodná, juhozápadná, východná expozícia), časť vinohradu má nevyhovujúcu expozíciu – severovýchodnú až severnú. Priemerný sklon územia je 5° , najsvahovitejšou časťou (až 19°) je juhovýchodný cíp územia.

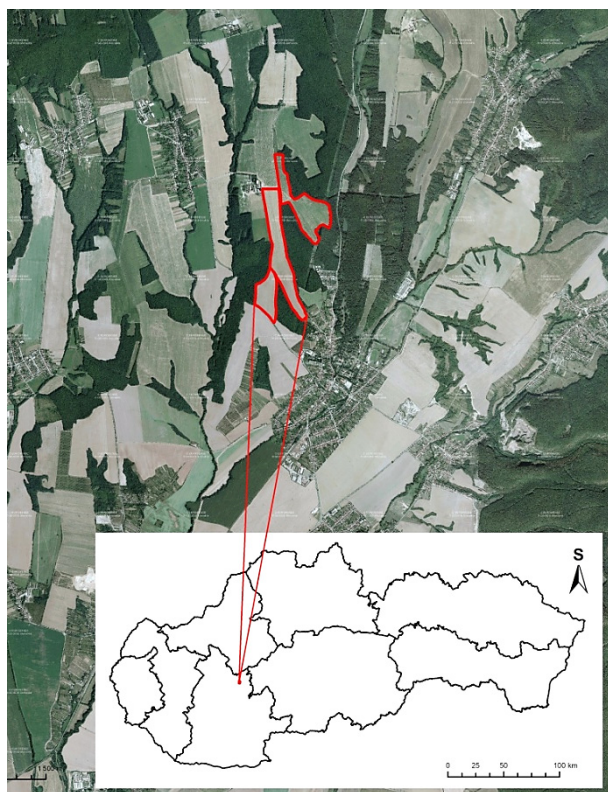
MATERIÁL A METÓDY

Meracie zariadenia a získavanie údajov

Pre meranie teploty vzduchu, ktorou sa príspevok zaoberá, boli použité tri úrovne merania: štátna klimatologická sieť SHMÚ - stanice Mochovce a Žikava (makroklima), automatická meteorologická stanica umiestnená priamo v sledovanom vinohrade (mezoklima) a šesť snímačov teploty vzduchu v listovej stene vinohradu (mikroklima) v závislosti od georeliéfu skúmaného vinohradu.

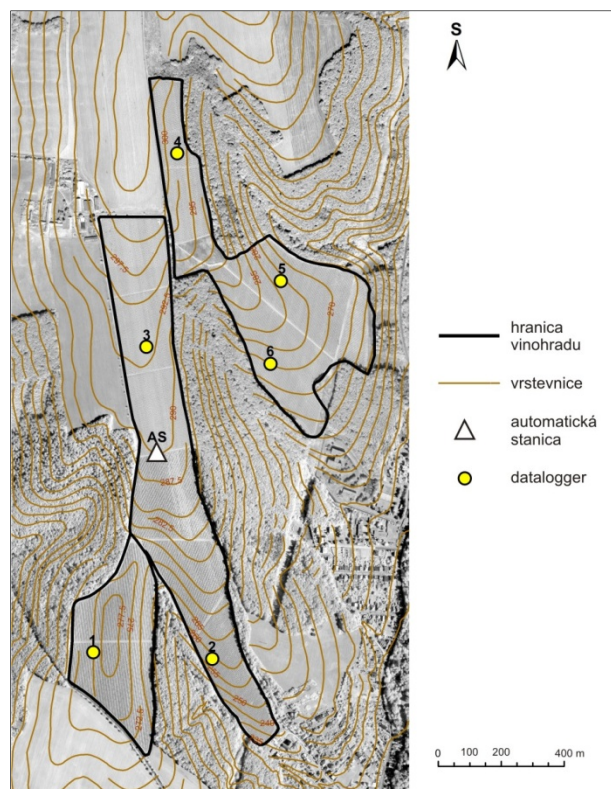
Obrázok 1. Lokalizácia územia (snímka: SAŽP, 2019a).

Figure 1. Localization of study area.



Obrázok 2. Poloha automatickej meteorologickej stanice a dataloggerov (snímka: GEOKOD s.r.o., 2018).

Figure 2. Localization of automatic weather station and dataloggers.



Najbližšie v súčasnosti kontinuálne merajúca (od roku 1996) klimatologická stanica zo siete SHMÚ sa nachádza v Mochovciach (cca 19 km južne od vinohradu v nadmorskej výške 261 m n. m.), bližšie k vinohradu sa nachádza stanica Žikava (3 km severne v nadmorskej výške 318 m n. m.), tá však od roku 2011 neposkytuje kontinuálne informácie. Stanica Žikava je využitá pre dlhodobé klimatické, resp. bioklimatické charakteristiky Zlatomoravského vinohradníckeho rajónu a stanicu Mochovce považujeme za referenčnú pre porovnávanie aktuálnych meraní priamo z vinohradu. Údaje zo staníc siete SHMÚ však dostatočne nevypovedajú o vhodnosti konkrétneho stanovišťa pre pestovanie viniča z hľadiska diferenciácie georeliéfu, najmä pokiaľ sa zameriame na detailnejšiu úroveň výberu vhodných odrôd, či kvalitatívne charakteristiky dopestovaného hrozna a vína. Z toho dôvodu bola v roku 2017 do vinohradu inštalovaná automatická meteorologická stanica a šesť dataloggerov (Obr. 2).

Automatická meteorologická stanica je umiestnená v centrálnej časti honu, výrobcom je spoločnosť Pessl Instruments GmbH. Jedná sa o typ iMETOS® 3.3 IMT300, uspokojený na meranie teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, teploty pôdy, množstva zrážok, rýchlosti vetra a vlhkosti listov. Teplota vzduchu je meraná vo výške približne 2 m nad povrchom zeme. Meranie veličín prebieha každých 5 min, následne je automaticky generovaný priemer za každých 15 minút a finálne hodinový priemer, ktorý sa odosiela pomocou GSM dátovej siete na webový server. Pre každú hodinu sú zároveň uvedené aj maximálne a minimálne hodnoty teploty vzduchu. Prístup k nameraným údajom je prostredníctvom webového portálu ng.fieldclimate.com.

Mikroklimatické dataloggery snímajúce teplotu vzduchu od spoločnosti Solinst (model 3001) boli umiestnené priamo do vnútra listovej steny radov vinohradu a pripnuté na opornú konštrukciu slúžiacu na vedenie viniča. Výška umiestnenia bola stanovená tak, aby čo najlepšie odrážala teplotné pomery v úrovni vedenia viniča (cca 80 – 120 cm od povrchu zeme, v závislosti od spôsobu vedenia viniča). Dataloggery zaznamenávajú údaje o teplote a tlaku vzduchu každých 10 minút, pričom údaje je nutné fyzicky stiahnuť pomocou optickej hlavice do počítača približne každých 6 mesiacov, kvôli obmedzenej internej pamäti. Na stiahnutie nameraných údajov slúži freeware softvér SolinstLevelogger, ktorý okamžite zobrazuje dáta vo forme tabuliek a grafov. Export nameraných dát je možný vo formáte .csv, čo umožňuje ďalšiu prácu s dátami v iných softvéroch. Z dôvodu obmedzenej pamäte nie sú k dispozícii merania z troch týždňov na prelome mesiacov august a september 2018. Ďalší výpadok dát sa spája len s dataloggerom 4, ktorý bol z dôvodu agrotechnických zásahov dočasne demontovaný na prelome novembra a decembra 2018. Napriek tomu, že dataloggery boli umiestnené v listovej stene a čiastočne tienené listami a opornou konštrukciou, dochádzalo k ich výraznému prehrievaniu počas trvania slnečného svitu, z toho dôvodu je príspevok zameraný na výskyt mrazových situácií, resp. na porovnávanie ranných minimálnych teplôt počas sledovaného obdobia máj 2017 až december 2018. V súčasnosti sú už na dataloggeroch inštalované radiačné kryty spĺňajúce technické štandardy, ktoré by problém s prehrievaním mali vyriešiť.

Dataloggery sú umiestnené v rámci vinohradu relatívne rovnomerne tak, aby bola zachytená geomorfometrická rôznorodosť a rôznorodosť odrôd (Tab. 1).

Vhodnosť umiestnenia dataloggerov bola 22. – 23. júna 2017 testovaná priamo terénymi meraniami na lokalitách dataloggerov 2, 3 a 6. Využitý bol suchý teplomer psychrometra.

Odvodenie geomorfometrických charakteristík

Geomorfometrické charakteristiky - nadmorská výška, sklon, expozícia a celkový úhrn globálneho slnečného žiarenia počas vegetačného obdobia od 1. apríla do 30. septembra (potenciálne oslnenie) boli odvodené z digitálneho terénneho modelu vytvoreného zo Základnej mapy M 1:10 000 (SAŽP, 2019b). Digitálny terénny model bol vytvorený v ArcMap 10.3 interpolačnou metódou *Topo to raster*, pre výpočet sklonu bol použitý nástroj *Slope* a pre výpočet orientácie reliéfu bol využitý nástroj *Aspect*.

Expozícia svahov spolu s ich sklonom ovplyvňuje veľkosť uhla, pod ktorým dopadajú slnečné lúče na zemský povrch. Uhol, pod ktorým dopadajú slnečné lúče na zemský povrch je dôležitý ukazovateľ oslnenia reliéfu, pomocou ktorého je následne možné výpočtom určiť úhrn slnečného žiarenia. Zemepisnú šírku a zároveň aj deklináciu Slnka v rôznom časovom intervale možno považovať v sledovanom území za konštantnú. Posudzujú sa geometrické aspekty dopadu lúčov Slnka na georeliéf, čo však neumožňuje absolútne presný výpočet množstva skutočného žiarenia. V prostredí, kde možno považovať iné atmosférické faktory za homogénne, odzrkadľujú takto vypočítané hodnoty relatívne rozdiely v mikroklimatických podmienkach (Krcho, 1970).

Moduly, ktoré umožňujú výpočet parametrov potenciálneho oslnenia georeliéfu sú súčasťou niektorých GIS platforiem. V praxi je veľmi často používaný modul *AreaSolar Radiation* obsiahnutý v rozšírení *SpatialAnalystTools* aplikácie ArcMap alebo modul *Solarirradiance and irradiation* (*r-sun*) programu GRASS GIS.

Celkový úhrn globálneho slnečného žiarenia počas vegetačného obdobia od 1. apríla do 30. septembra bol vypočítaný pomocou modulu *r-sun*. Pri výpočte priameho

slnečného žiarenia, ako jednej z dvoch zložiek globálneho žiarenia, boli pre priemerné mesačné hodnoty koeficientu „skutočnej oblohy“ zoslabujúceho priame žiarenie použité hodnoty koeficientu z tabuľky 2 uvedené pri meteorologickej stanici Tesárske Mlyňany, ktorá sa nachádza 12,5 km južne od sledovaného územia. Najbližšie údaje z meraní slnečného žiarenia sú k dispozícii pre stanicu Bratislava-Koliba. Hodnoty tohto komponentu boli pre túto stanicu vypočítané ako podiel priameho slnečného žiarenia zisteného z meraní a vypočítaného priameho žiarenia. Tieto hodnoty boli pre stanicu Tesárske Mlyňany upravené vzhľadom na rozdiel priemerných hodnôt trvania slnečného svitu na tejto stanici a na stanici Bratislava-Koliba v normálovom období 1981–2010. Vzhľadom na to, že ročná hodnota trvania slnečného svitu na stanici Tesárske Mlyňany je len o 4,6 % nižšia ako na stanici Bratislava-Koliba, vplyv oblačnosti na zvýšenie intenzity difúzneho žiarenia nebol uvažovaný a pre výpočet boli prevzaté hodnoty komponentu difúzneho žiarenia koeficientu skutočného žiarenia oblohy, vypočítané ako podiel nameraného difúzneho žiarenia a vypočítaného difúzneho žiarenia, uvedené pre stanicu Bratislava-Koliba (Tab. 2).

V module *AreaSolarRadiation* predstavuje určitú obdobu komponentov koeficientu skutočného žiarenia oblohy parameter priepustnosti atmosféry a parameter difúzneho žiarenia. Podľa manuálu k ArcMap (ESRI, 2019) hodnota 0 pre tento parameter predstavuje nulový prenos, v module prednastavená hodnota 0,5 predstavuje prenos priameho slnečného žiarenia za podmienok čistej oblohy a hodnota 1 predstavuje úplný prenos bez strát energie priameho slnečného žiarenia. Interpretácia ostatných hodnôt je ponechaná na používateľa. Vypočítaná ročná hodnota globálneho slnečného žiarenia pre meteorologickú stanicu Bratislava-Koliba (Tab. 3) pri prednastavených hodnotách vstupných parametrov modelu je 1031 kWhm^{-2} a ročná hodnota difúzneho žiarenia je 261 kWhm^{-2} , čo je o 15 %, v prípade globálneho žiarenia, a o 55 % v prípade difúzneho žiarenia menšia hodnota ako namerané hodnoty na tejto stanici pri reálnych atmosférických podmienkach alebo vypočítané hodnoty pomocou modulu *r-sun*, v prípade použitia vstupných parametrov z tabuľky 2.

Tabuľka 1.
Geomorfometrické charakteristiky a odrody v mieste inštalácie dataloggerov.

Table 1.
Geomorphometric characteristics and grapevine varieties at the dataloggers locations.

ID	nadm. výška [m n. m.]	orientácia	sklon [°]	potenciálne oslnenie IV – IX [kWh.m^{-2}]	odroda
1	274,6	Z	4,1	910,1	Rizling vlašský
2	258,6	JZ	8,5	931,6	Müller Thurgau
3	292,9	JV	0,8	908,5	Veltínske zelené
4	297,5	V	4,4	913,4	Chardonnay
5	276,5	SV	7,5	888,2	Frankovka modrá
6	270,3	JZ	5,2	930,0	Frankovka modrá
AS	290,1	JZ	0,6	913,6	Veltínske zelené

1 – 6 číslo dataloggeru, AS – automatická stanica

Tabuľka 2.
Hodnoty koeficientu skutočného žiarenia oblohy pre priame a difúzne slnečné žiarenie.

Table 2.
Real-sky radiation coefficient for direct and diffuse solar radiation

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bratislava-Koliba												
k-priame	0,28	0,34	0,35	0,41	0,44	0,44	0,48	0,49	0,42	0,38	0,24	0,23
k-difúzne	1,13	1,5	1,65	1,94	2,03	2,11	2,01	1,85	1,72	1,47	1,19	1,07
Tesárske Mlyňany												
k-priame	0,25	0,34	0,34	0,39	0,41	0,42	0,45	0,47	0,4	0,36	0,24	0,2

Zvýraznené je vegetačné obdobie

Tabuľka 3. Hodnoty mesačných úhrnov globálneho a difúzneho slnečného žiarenia [kWhm⁻²] vypočítané pomocou programu ArcMap (ASR) a namerané hodnoty v normálovom období 1981–2010 (Kolektív autorov, 2016).

Table 3.
Monthly total values for global and diffuse solar radiation calculated by ArcMap (ASR) and measured values in the normal period 1981–2010.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	spolu
Žiarenie [kWhm ⁻²]	Bratislava-Koliba												
Difúzne, ASR	5	10	20	28	36	38	38	38	24	14	6	4	261
Priame, ASR	8	19	50	84	119	128	128	127	63	29	10	5	770
Globálne, ASR	13	29	70	112	155	166	166	165	87	43	16	9	1031
Difúzne, m	17	28	46	64	78	82	79	66	50	34	19	14	577
Priame, r	11	21	42	69	95	98	106	92	57	33	11	7	642
Globálne, m	28	49	88	133	173	180	185	158	107	67	30	21	1219

m – merané, r – rozdiel medzi meraným globálnym a meraným difúznym žiarením

Napriek odchýlkam výstupov oboch testovaných modulov, obidva moduly pravdepodobne počítajú zdanlivú dráhu Slnka po oblohe vzhľadom na dotykovú rovinu ku georeliéfu v danom bode na základe rovnakých algoritmov. V prospech tohto tvrdenia svedčí veľmi podobná štruktúra vygenerovaných vektorových polí priameho, ale aj globálneho slnečného žiarenia. Rozdiely medzi modulmi sú len vo vygenerovaných skalárnych hodnotách. Tieto rozdiely spôsobuje nie jednoznačne nastaviteľná škála hodnôt koeficientov simulujúcich zoslabujúci alebo zosilňujúci efekt atmosféry. Z tohto dôvodu pri neznámych hodnotách týchto parametrov sú obidva modulové nástroje vhodné viac na modelovanie štruktúry radiačných polí ako na samotné vyjadrenie úhrnov jednotlivých zložiek slnečného žiarenia. Kvôli ľahšej interpretovateľnosti zoslabujúcich koeficientov v module *Solarirradiance and irradiation [r-sun]* programu GRASS GIS bol pre výpočet použitý tento program.

Výber a spracovanie klimatických a bioklimatických charakteristík

Dlhodobé bioklimatické charakteristiky boli počítané z údajov za normálové obdobie rokov 1980–2010 zo stanice Žikava, ktorá sa nachádza najbližšie k spracovávanému vinohradu. Tradičné bioklimatické indexy využívané vo vinohradníctve sú založené na teplote ako hlavnom klimatickom faktore. Najbežnejšie využívaným je výpočet priemernej teploty za vegetačné obdobie (1.4.–31.10.). V príspevku je okrem priemernej teploty za vegetačné obdobie využitý helietermický index (Huglin, 1978) a index chladnej noci (Tonietto, 1999).

Helietermický index určuje helietermický potenciál konkrétnych klimatických podmienok. Stanovuje taktiež potenciál odrôd vinnej révy pre dosiahnutie zrelosti vo vzťahu k stanovištu.

$$HI = \sum_{01.04}^{30.09} \frac{(T - 10) + (T_x - 10)}{2} d,$$

kde

T – priemerná denná teplota,

T_x – maximálna denná teplota,

d – parameter zem. šírky (do 48° 1,05; nad 48° 1,06).

Indexom chladnej noci sa hodnotí potenciál stanovišta vo vzťahu k tvorbe sekundárnych metabolitov (fenologických a aromatických látok) v hrozne. Stanovuje sa podľa

nočných teplôt pri dozrievaní hrozna, jedná sa o priemer minimálnych denných teplôt v septembri v °C.

Z hľadiska mikroklimy sme boli nútení zamerať sa na štúdium minimálnych teplôt, z dôvodu prehrievania mikroklimatických dataloggerov. Dôraz bol kladený na výskyt mrazových situácií, ktorých variabilita v rámci roka je vo vinohradníckej praxi veľmi dôležitá. Mrazové situácie počas zimného obdobia sú žiaduce napríklad z dôvodu zdravého vymrznutia škodcov a hubových chorôb vo viniči (Vanek, 2011). Preto boli sledované počty dní s mrazom pod –5 °C. V zimnom období je zároveň vhodné sledovať aj teplotu klesajúcu pod –7 °C pre potreby výroby ľadového vína. Naopak, Vanek (2011) a Zacha (1977) uvádzajú, že všeobecne môže dôjsť k poškodeniu viniča v dobrej kondícii, ak je teplota niekoľko dní nižšia ako –15 °C (poškodzujú sa púčiky), –20 °C (poškodzuje sa kambialne pletivo), –22 °C (poškodzuje sa staré drevo). Nakoľko počas sledovaného obdobia sa nevyskytla teplota nižšia ako –20 °C, sledovaný bol výskyt teploty nižšej ako –15 °C.

Minimálna mesačná a minimálna nočná teplota na lokalitách v rámci vinohradu demonštrovali vplyv georeliéfu na mikroklimu daného miesta.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dlhodobé bioklimatické charakteristiky Zlatomoravského vinohradníckeho rajónu

Dlhodobé bioklimatické charakteristiky sú dôležité predovšetkým z hľadiska novej výsadby vinohradov, štandardne je využívaný 30-ročný časový rad. V prípade Zlatomoravského vinohradníckeho rajónu sa za referenčné stanice považujú stanice Žikava a Mochovce, pre analyzovaný vinohrad bola zvolená stanica Žikava, nachádzajúca sa 3 km severne.

Z hľadiska priemernej teploty za vegetačné obdobie (1.4.–31.10.) možno rajón považovať za ideálny pre pestovanie širokého spektra odrôd viniča. Podľa Jones a Hellman (2003) sú pre územie s priemernou teplotou za vegetačné obdobie od 13 do 15 °C vhodné odrody Rulandské šedé, Müller Thurgau, Tramín červený a Ryzling rýnsky a pre teplotu od 15 do 17 °C sú vhodné odrody Rulandské modré, Chardonnay a Sauvignonblanc.

Helietermický index (Huglin, 1978) zaraďuje z dlhodobého hľadiska Zlatomoravský vinohradnícky rajón do chladnej (HI = 1500 až 1800) a miernej (HI = 1800–2100) triedy vinohradníckej klímy (Tonietto a Carboneau, 2004).

Rajón je vhodný pre pestovanie veľkého spektra bielych aj modrých odrôd (predovšetkým Ryzling rýnsky, Rulandské biele a Merlot), podmienky sú vhodné aj na pestovanie neskorých odrôd, napr. Cabernet Sauvignon a Syrah. V porovnaní s predchádzajúcimi rokmi, v roku 2018 je badateľný nárast hodnoty helietermického indexu. V stanici Mochovce za rok 2018 dosiahol hodnotu 2430, čo pre aktuálne vysadené odrody predstavuje vysoké riziko výskytu stresových javov (napr. šírenie chorôb, pálenie listov).

Zlutomoravský vinohradnícky rajón je z hľadiska indexu chladnej noci zaradený do oblasti veľmi chladných ($\leq 12^{\circ}\text{C}$) až chladných ($12-14^{\circ}\text{C}$) nocí (Tonietto a Carboneau, 2004). Táto oblasť je charakterizovaná nízkou nočnou teplotou, ktorá však môžu mať pozitívny vplyv v závislosti od helietermických možností zaistujúcich dobrú zrelosť hrozna. Zároveň má táto trieda vysoký potenciál pre farbu a arómu. Ak ale hrozno nie je dostatočne vyzreté, nízka nočná teplota v septembri môže mať potenciálne nepriaznivý vplyv na kvalitu hrozna a vína v dôsledku zastavenia hromadenia cukrov a odbúravania kyselín. Na rozdiel od predošlých bioklimatických parametrov, septembrová nočná teplota v súčasnosti nevybočuje z dlhodobých intervalov.

Charakteristika zistených mrazových situácií a jej vplyv na vinič

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že počas meraní (máj 2017–december 2018) neboli zaznamenané mrazové situácie, ktoré by viniču výrazne negatívne ovplyvnili. Skoré októbrové mrazy, ktoré sme zaznamenali, môžu ale spôsobiť stmavnutie, zosychanie a predčasný opad listov. V prípade neskorých odrôd sa zastavuje dozrievanie, zastaví sa hromadenie cukrov a odbúravanie kyselín, čo má vplyv na výslednú kvalitu vína (Pavloušek, 2011).

V zime (december až február) neklesla teplota pod -15°C , kedy by mohlo dôjsť k poškodeniu jednoročného dreva (Záruba et al., 1985). Zimné mrazy v sledovanom období pôsobili na vinič prevažne pozitívne, vďaka mrazivému počasiu je vinič schopný odpočívať, pričom dochádza k zdravému vymrznutiu škodcov a hubových chorôb. Okrem silných mrazov je pre vinohrad nebezpečná vysoká rozkolísanosť teplôt (Vanek et al., 1995), čo vzhľadom na vysoký podiel dní s mrazom počas zimných mesiacov nebolo vo skúmanom vinohrade zistené. V zimných mesiacoch je zároveň žiadúce sledovať aj teplotu klesajúcu pod -7°C pre potreby výroby ľadového vína. Podľa §20 zákona č. 313/2009 o vinohradníctve a vinárstve ide o špeciálny druh vína, vyrobeného z hrozna, ktoré bolo zbierané pri teplote -7°C , alebo nižšej. Hrozno by malo byť počas zberu aj spracovania zamrznuté, cukornatosť získaného muštu má byť najmenej 27°NMa a skutočný obsah alkoholu vo víne najmenej 6 % objemu. Najvhodnejšie podmienky na zber takéhoto hrozna sú keď teplota poklesne pod -7°C dva až tri po sebe idúce dni.

Z pohľadu vinohradníckej praxe sú najnebezpečnejším javom jarné mrazy (marec až máj). Miera poškodenia narastá pri skorých odrodách, ktorých pučanie začína skôr. Mladé výhonky po vyrašení, listy a púčiky môžu byť v apríli a máji poškodené pri teplote -3°C , menej odolné odrody dokonca strácajú odolnosť už pri teplote $-0,5^{\circ}\text{C}$. Zamrznuté časti hnednú a vysychajú, strapce odumierajú

a následne černejú (Vanek, 2011). Zaznamenaný bol výskyt mrazu v máji 2017, mraz však dosahoval maximálne $-1,57^{\circ}\text{C}$ v lokalite 6 a nemal na vinič negatívny vplyv.

Špecifickým javom, ktorý sa vplyvom klimatickej zmeny bude v budúcnosti pravdepodobne opakovať, bol marec 2018 s abnormálne vysokým počtom mrazových dní. Tieto mrazy ale podľa vinohradníkov neboli nebezpečné, nakoľko sa nimi oddialil nástup fenofázy pučania. Ak by začiatok marca bol teplý, začalo sa pučanie, a mrazy uderili po jeho začiatku, predstavovalo by to značný problém.

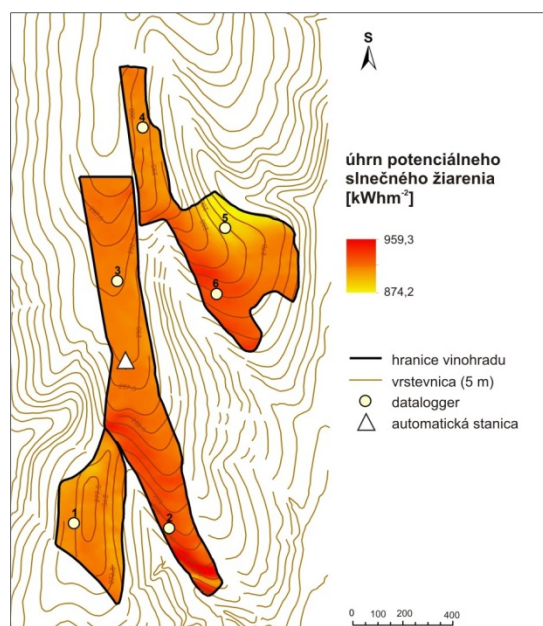
Mikroklima skúmaného vinohradu

Výskum mezoklímy a mikroklímy vinohradu bol realizovaný pomocou jednej automatickej meteorologickej stanice a šiestich dataloggerov, ktorých umiestnenie reprezentuje rozličné mikropoložky.

Na základe vykonaných meraní prebiehajúcich od mája roku 2017 do decembra 2018, možno konštatovať, že teplotné rozdiely okamžitých teplôt v rámci skúmaného vinohradu dosahujú $2-5^{\circ}\text{C}$. Jedná sa o hodnoty, ktoré v prípade mrazových situácií, a aj v prípade vysokých teplôt, môžu výrazne ovplyvniť mieru poškodenia vinohradu. Dosiahnuté teplotné rozdiely nie je možné pripisovať štandardnému výškovému gradientu ($0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), nakoľko rozdiel polôh jednotlivých meracích zariadení dosahuje maximálne 38,9 m, v prípade celého vinohradu sa jedná maximálne o 70 m prevýšenie. Ak by bol v platnosti výškový gradient teploty, potenciálne najteplejšou je lokalita dataloggeru 2 a najchladnejšou lokalita dataloggeru 4, čo nebolo potvrdené, práve naopak. Z toho vyplýva, že pri hodnotení diferenciácie teploty vzduchu zohráva výraznejšiu rolu sklon a orientácia svahu, ktorých priestorová syntéza vytvára ukazovateľ oslnenia georeliéfu (Obr. 3) a topológia.

Obrázok 3. Celkový úhrn globálneho slnečného žiarenia počas vegetačného obdobia (1. 4. – 30. 9.).

Figure 3. The total amount of global solar radiation during the growing season.



Tabuľka 4. Počet dní s mrazom na jednotlivých stanovištiach vo vybraných mesiacoch a rokoch porovnané s údajmi SHMÚ (Mochovce).

Table 4. Frost days at sites in selected months and years compared to Slovak Hydrometeorological Institute data from Mochovce.

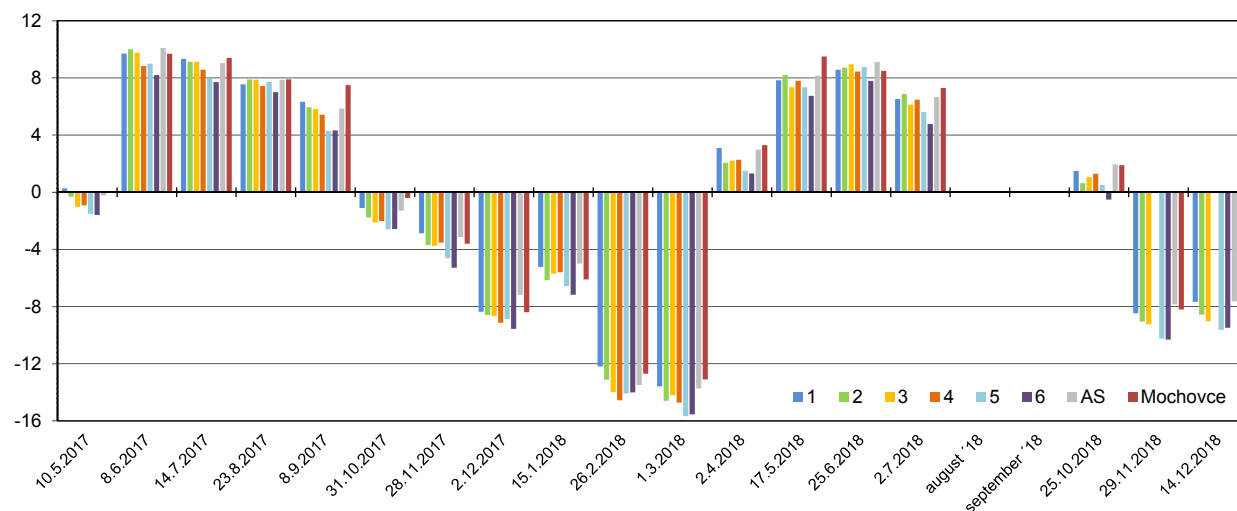
	5/17	10/17	11/17	12/17	1/18	2/18	3/18	10/18	11/18	12/18
	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0	T ≤ 0
	0	0	0 -5	0 -5 -7	0 -5 -7	0 -5 -7	0 -5 -7 -15	0	0 -5 -7	0 -5 -7
1	0	1	6 0	19 5 1	16 1 0	25 8 5	16 6 1 0	0	6 2 2	19 5 3
2	1	2	8 0	19 10 4	17 3 0	27 9 6	19 8 3 0	0	6 3 2	21 6 4
3	1	1	10 0	21 9 5	17 3 0	27 9 6	19 8 3 0	0	6 3 2	22 6 4
4	1	1	10 0	22 9 5	18 2 0	27 10 7	20 8 3 0	0	–	–
5	1	2	14 2	23 10 5	18 3 0	27 9 8	20 8 3 1	0	8 3 3	22 6 4
6	1	2	13 2	23 10 7	19 4 1	27 9 8	21 8 3 1	1	7 3 3	23 7 4
AS	1	1	6 0	21 5 2	15 0 0	25 8 5	16 7 2 0	0	6 2 2	20 5 1
M	1	1	7 0	23 7 3	18 2 0	25 8 4	16 7 3 0	0	6 1 0	19 5 1

$T \leq 0$ - celkový počet dní s mrazom; z toho $T \leq -5$ - počet dní s mrazom pod -5°C ; z toho $T \leq -7$ - počet dní s mrazom pod -7°C

1 – 6 - čísla dataloggerov, AS - automatická stanica, M - stanica Mochovce, – bez dát

Obrázok 4. Minimálna teplota počas najchladnejšej noci v rámci vinohradu porovnané s údajmi SHMÚ (Mochovce).

Figure 4. Minimum temperature during the coldest night in the vineyard compared with the data of the Slovak Hydrometeorological Institute.



Podľa modelu úhrnu globálneho slnečného žiarenia počas vegetačného obdobia sa územie javí ako ideálne pre pestovanie širokej škály odrôd viniča (s výnimkou severovýchodne orientovanej časti). Potenciálne najteplejšími lokalitami v rámci študovaného vinohradu je juhovýchodný cíp (lokalita dataloggeru 2) a južná časť východného výbežku (lokalita dataloggeru 6). Naopak, potenciálne najchladnejšou časťou by mal byť juhozápadný cíp (lokalita dataloggeru 1) a severná časť východného výbežku (lokalita dataloggeru 5). Čiastočne potvrdená ako najchladnejšia bola len lokalita 5. Z toho dôvodu je žiaduce zaoberať sa topografiou ako vedúcim faktorom diferenciácie teploty vzduchu. Je nutné podotknúť, že vinič je heliofyt, natáčaním sa dokáže kompenzovať nižšie úhrny slnečného svitu.

Z nameraných hodnôt minimálnych teplôt (Obr. 4, Tab. 4) možno konštatovať, že najchladnejšou oblasťou je lokalita 6, napriek tomu, že vykazuje takmer najvyššiu mieru potenciálneho oslnenia ($930,0 \text{ kWh.m}^{-2}$), a teda by

mala byť teplejšia v porovnaní s ostatnými lokalitami. Teplota v lokalite klesala najnižšie takmer vo všetkých sledovaných mesiacoch, zároveň tu boli dosahované najväčšie počty dní s mrazom. Dôvodom je poloha na svahu relatívne úzkej doliny so zalesneným protisvahom, čo vytvára podmienky pre akumuláciu studeného vzduchu. Miera potenciálneho oslnenia sa prejavila počas terénnych meraní (22. – 23. 6. 2017), kde bola v lokalite 6 zistená najvyššia teplota v rámci pozorovaných území (lokalita 2 a 3), nočné minimá naopak dosahovali najnižšie hodnoty.

Obdobne chladné podmienky boli zaznamenané v lokalite 5, čo bolo očakávané vzhľadom na severovýchodnú orientáciu územia, relatívne nízku mieru potenciálneho oslnenia ($888,2 \text{ kWh.m}^{-2}$) a dolinovú polohu. Z hľadiska vhodnosti územia na pestovanie viniča možno hodnotiť územie ako čiastočne nevhodné, predovšetkým pre modré odrody. V kontraste s týmto tvrdením je, spoločne s lokalitou 6, pestovanie Frankovky modrej. Podľa slov vinohradníkov boli tieto polohy z dôvodu výskytu žiaducich

mrazov vytipované na pestovanie ľadového vína, ktorého zber je realizovaný najčastejšie v priebehu decembra, čo bolo výskytom za sebou idúcich dní s mrazom pod -7°C potvrdené. Z toho titulu možno považovať územie za vhodné, avšak je nutné zvážiť výskyt nebezpečných mrazov (-15°C), ktoré sa ale v lokalite počas výskumu vyskytli len počas jedného dňa.

Pri ranných minimálnych teplotách sa inverzia prejavuje najvýraznejšie v prípade lokality 2. Dochádza tu k stekaniu a výraznej akumulácii studeného vzduchu z málo svahovitej plošiny, čo je zvýraznené aj relatívne prudkou zmenou georeliéfu v oblasti nad dataloggerom 2. Priamo v lokalite sa pestuje odroda Müller Thurgau, ktorá má strednú odolnosť voči mrazu, po mrazoch je schopná dobre regenerovať. Avšak v lokalite pod umiestneným dataloggerom sa nachádza odroda Merlot, ktorá je náchylná na jarné mrazy z dôvodu včasného pučania (Domin et al., 2017). Počas meraní ale neboli zaznamenané, aj z dôvodu všeobecne málo chladných rokov, také mrazové situácie, ktoré by vinič v lokalite ohrozili.

Lokality 3 a 4 sa javia podľa meraní ako mikroklimaticky podobné, čo je potvrdené aj podobnosťou morfometrických parametrov a potenciálnej miery oslnenia (Tab. 1). Jedná sa o lokality na málo sklonitých a snečných svahoch s dobrou vzdušnosťou, nie sú ovplyvnené stekáním studeného vzduchu z okolia. Z hľadiska vinohradníckej praxe sú tieto lokality vhodné pre pestovanie širokého spektra bielych aj modrých odrôd, nakoľko sa jedná o oblasť, kde je eliminované riziko inverzných situácií, a s tým spojených extrémnych mrazových situácií. V lokalite 3 a jej širšom okolí sa pestuje odroda Veltínske zelené, v lokalite 4 je to odroda Chardonnay a Rulandské modré.

Podľa meraní je najteplejšou oblasťou lokalita okolo dataloggeru 1, ktorá však v porovnaní s ostatnými lokalitami dosahuje najnižšie miery potenciálneho oslnenia a je otáznou, či by najteplejšou bola aj pri meraní najvyšších denných teplôt. Oblasť je málo svahovitá, jedná sa o nízky konvexný útvar. Zo severu a juhovýchodu je oblasť ohraničená lesom, ktorého potenciálne ochladzujúci efekt je eliminovaný spomínanou morfometriou a otvorenosťou juhozápadnej časti smerom k rovinatým poľnohospodárskym pozemkom, ktoré nebránia prúdeniu vzduchu. Takáto oblasť s malým výskytom mrazov a potenciálnym príkonom slnečného žiarenia $855,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ je vhodná aj na pestovanie teplomilných odrôd s nízkou mrazuvzdornosťou, čo potvrdilo vhodnosť výsadby Rizlingu vlašského.

Zo zistených výsledkov vyplýva, že mikroklimatické merania dokážu podať relevantné a dostatočne detailné informácie o teplotných rozdieloch v rámci niekoľkých hektárov vinohradu, ktoré môžu následne napomôcť nielen pri rozhodovaní o vhodnosti stanovišťa pre pestovanie konkrétnej odrody viniča. Zároveň je možné, na základe identifikácie „mrazových údolí“, efektívne pripraviť opatrenia, ktoré zabránia potenciálnym škodovým udalostiam.

ZÁVER

Výskum poukázal na skutočnosť, že mikroklimatické hodnotenie má v rámci posudzovania *terroir* vinohradov svoje miesto. Tradične využívané hodnotenie klimatických charakteristík na základe údajov zo siete staníc SHMÚ nedokáže zohľadniť meniacu sa mikroklimu, nakoľko rozdiely medzi teplotou vzduchu v rámci jednotlivých častí morfometricky diferencovaného územia dosahujú niekoľko $^{\circ}\text{C}$. Vysoká variabilita teplôt môže ovplyvňovať rozdielny nástup fenofáz viniča v jednotlivých častiach konkrétneho vinohradu. Mikroklimatické merania a následné prognózy sú vhodným podkladom pre manažment agrotechnických zásahov (napr. prispôbenie odrodového zloženia, protimrazové opatrenia).

Výskyt nameraných mrazových situácií jednoznačne poukázal na výrazný vplyv georeliéfu a topografie na mikroklimu vinohradu. Georeliéf v skúmanom vinohrade ovplyvňuje predovšetkým vznik teplotných inverzií a súvisiace stekanie a akumuláciu studeného vzduchu v dolinových polohách.

Podakovanie

Tento príspevok bol podporovaný Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0597 a Grantom Univerzity Komenského č. UK/271/2019. Dáta z klimatologických staníc boli poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom na základe spisu č. 201-1497/2019/1463.

LITERATÚRA

- Branas, J., 1974, *Viticulture*. Dehan, 990 p.
- Burrell, J.–Brooke, T.–Beckwith, R., 2004, *Vineyard computing: sensors networks in agricultural production*. LNCS, 3, 38–45.
- Domin, J.–Furdíková, K.–Báleš, V.–Timár, P.–Žembeová, A., 2017, *Hrozno a víno ekologicky*. Víno Natural, 352 s. ISBN 978-80-972706-1-2.
- ESRI, 2019, *ArcGIS Desktop Documentation: Area Solar Radiation*. [Online]. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/area-solar-radiation.htm> [cit. 20. 03. 2019].
- GEOKOD s.r.o., 2018, *Ortofoto snímka vinohradu v Topoľčiankach*. [fotografia]
- Gladstones, J.S., 1992, *Viticulture and the Environment*. Wine-Titles, 320 p. ISBN 9781875130122.
- Gregan, S.M.–Wargent, J.J.–Liu, L.–Shinkle, J.–Hofmann, R.–Winefield, C.–Jordan, B., 2012, *Effects of solar ultraviolet radiation and canopy manipulation on the biochemical composition of Sauvignon Blanc grapes*. Aust. J. Grape Wine Res., 18(2), 227–238.
- Haselgrove, L.–Botting, D.–van Heeswijck, R.–Hoj, P.B.–Dry, P.R.–Ford, D.–Iland, P.G., 2000, *Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of Vitis vinifera L. cv. Shiraz grape berries*. Aust. J. Grape Wine Res., 6(2), 141–149.

- Hoppmann, D.–Schaller, K.–Stoll, M., 2017, *Terroir - Wetter, Klima und Boden im Weinbaum*. Verlag Eugen Ulmer, 372 p. ISBN 978-3-8001-03501-8.
- Huglin, P., 1978, Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Symposium International sur l'écologie de la vigne*. Constança. 88 – 89.
- Jones, G.V.–Hellman, E.W., 2003, *Oregon viticulture*. Oregon State University Press, p. 264. ISBN 978-0870715549.
- Kolektív autorov, 2016, *Klimatologické normály na Slovensku za obdobie 1981 – 2010*. Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor klimatologická služba. 216 p.
- Krcho, J., 1970, Zostrojenie máp časovej a uhlovej dynamiky oslnenia reliéfu graficko-numerickým spôsobom a pomocou samočinných počítačov. *Geografický časopis*, 22(4), 205 – 245.
- Matese, A.–DiGennaro, S.F., 2015, Technology in precision viticulture: a state of the art review. *J. WineRes.*, 7(1), 69–80.
- Matese, A.–Crisci, A.–DiGennaro, S.F.–Primicerio, J.–Tomasic, D.–Marcuzzo, P.–Guidoni, S., 2014, Spatial variability of meteorological conditions at different scales in viticulture. *AgricForMeteorol*, 189–190, 159–167.
- Morlat, R., 1989, *Le terroir viticole: contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins: application aux vignobles rouges de moyenne vallée de la Loire*. Université de Bordeaux Ségalen. 289 p.
- Pavloušek, P., 2011, *Pěstování révy vinné*. Grada Publishing. 333 s. ISBN 978-80-247-3314-2.
- Percival, D.C.–Fisher, K.H.–Sullivan, J.A., 1994, Use of fruit zone leaf removal with *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapevines. II. Effect on fruit composition, yield and occurrence of bunch rot, *Botrytis cinerea*. *Am. J. Enol.Vitic.*, 45, 133–140.
- Pereira, G.E.–Gaudillere, J.P.–Pieri, P.–Hilbert, G.–Maucourt, M.–Deborde, C.–Rolin, D., 2006, Microclimate influence on mineral and metabolic profiles of grape berries. *J. Agric. Food Chem.*, 54 (18), 6765–6775.
- Petrie, P.R.–Trought, M.C.T.–Howell, G.S.–Buchan, G.D., 2003, The effect of leaf removal and canopy height on whole-vine gas exchange and fruit development of *Vitis vinifera* L. Sauvignon Blanc. *Funct. Plant Biol.*, 30(6), 711–717.
- Ruiz-Garcia, L.–Lunadei, L.–Barreiro, P.–Robla, J.I., 2009, A Review of WirelessSensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and CurrentTrends. *Sensors*, 9, 4728–4750.
- SAŽP, 2019a, Ortofoto mapa Slovensko. [Online]. <http://tiles.geop.sazp.sk/base/service?> [cit. 27. 03. 2019].
- SAŽP, 2019b, Základná mapa SR 1:10 000. [Online]. <http://tiles.geop.sazp.sk/base/service?> [cit. 09. 01. 2019]
- Seguin, G., 1986, *Terroirs and pedology of winegrowing*. *Experientia*, 42, 861–873.
- Smart, R.E., 1985, Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 36, 230–239.
- Spayd, S.E.–Tarara, J.M.–Mee, D.L.–Ferguson, J.C., 2002, Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. In: *Am. J. Enol. Vitic.*, 53, 171–182.
- Tomasi, D.–Gaiotti, F.–Jones, G.V., 2013, *The Power of the Terroir: the Case Study of Prosecco Wine*. Springer Basel. 248 p. ISBN 978-3-0348-0627-5.
- Tonnieto, J., 1999, *Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France: méthodologie de caractérisation*. Montpellier. These Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique Montpellier. 466 p.
- Tonnieto, J.–Carbonneau, A., 2004, A Multicriteria Climatic Classification System for Grape-Growing Regions Worldwide. *Agric. For. Meteorol.* 124, 81 – 97.
- Van Leeuwen, C.–Seguin, G., 2006, The Concept of Terroir in Viticulture. *J. Wine Res.* 17(1). 1–10.
- Vanek, G., 2011, *Kontrolujeme dôsledky zimných mrazov*. Vinič a víno. 1.
- Winkler, A.J.–Cook, W.M.–Kliewer, W.M.–Lider, L.A., 1974, *General Viticulture*. University of California Press. 710 p. ISBN 9780520025912.
- Zacha, V., 1977, *Ochranna vinné révy pred chorobami a škůdci*. Český ovocinářský a záhradkářský svaz. 31 p.
- Zákon č. 313/2009 Z. z. o vinohradníctve a vinárstve.
- Záruba, F.–Homolová L.–Kaša, A.–Pazderka, F., 1985, *Vinohradníctvo. Príroda*, 384 p. ISBN 80-07-00216-2.

DYNAMIC-CLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF THE MAXIMUM 2-DAY PRECIPITATION TOTALS IN SLOVAKIA

LADISLAV MARKOVIČ

Slovak Hydrometeorological Institute, Climatological service, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava 37,
ladislav.markovic@shmu.sk

Our paper deals with the study of the maximum 2-day atmospheric precipitation totals in the Slovak Republic in the period 1951–2010 in terms of their spatial and temporal distribution with goal to create basic dynamic-climatological analysis of the synoptic situations, which lead to occurrence of significant 2-day precipitation situations. In Slovakia general studies dealing with 2-day precipitation totals were being already processed in the past (Lapin, et al. 2004), but they used only a limited set of precipitation stations with shorter time series. In our thesis the newly created set of maximum 2-day precipitation totals from 486 precipitation stations was used. This set of stations is owned and operated by the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ), and the data were being observed in the period 1951–2010 and their time series meet requirements of completeness and consistency.

V našej práci sa zaoberáme štúdiom maximálnych súm 2-denných úhrnov atmosférických zrážok na území Slovenskej republiky v období 1951–2010, z hľadiska ich priestorovej a časovej distribúcie, s cieľom vytvoriť dynamicko-klimatologickú analýzu synoptických situácií prinášajúcich na naše územie významné viacdenné zrážkové situácie. Na území Slovenska už boli v minulosti spracované štúdie zaoberajúce sa sumami viacdenných úhrnov zrážok (Lapin a kol., 2004), ktoré však využili len obmedzený súbor zrážkomerných staníc s kratšími časovými radmi. Pre potreby našej práce bol využitý novovytvorený súbor maximálnych súm 2-denných úhrnov zrážok zo 486 zrážkomerných staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ), ktoré boli v období 1951–2010 v aktívnej činnosti, a ich časové rady splnili podmienky kompletnosti a konzistentnosti.

Key words: 2-day precipitation totals, dynamic-climatological analysis, of synoptic situations, spatial analysis

OVERVIEW

The ongoing global climate change has an undeniable impact on weather and climate. The associated long-term growth of global air temperature, particularly in the Arctic and Polar regions of the oceans in the Northern Hemisphere (Vihma, 2014), can be directly linked to melting continental ice and continually diminishing sea ice extent (Bintanja et al., 2013). It is very likely, that the rise in the surface layers' water temperature in the North Atlantic Ocean and the Arctic Ocean, affects the dynamics of atmospheric flow and consequently, the process of genesis, vertical and horizontal dimensions, stability and patterns of movement of low and high-pressure areas (Pedersen et al., 2016). Change of conditions in the synoptic scale atmospheric circulation leads to a change in the distribution of precipitation during the year in Slovakia. This change is represented by an increase in the share of convective based stormy downpours on the overall precipitation totals (Faško et al., 2015; Markovič et al., 2016) and as growing extremity of precipitation events.

Spatial and temporal irregularities in the distribution of daily and 2-day precipitation totals and, in particular, the extreme values of these characteristics are features that could in some extreme cases endanger the lives and property of its residents. Complex approach to the data acquisition process, a large base of available precipitation stations and long and reliable data sets represent a good basis for a comprehensive study of precipitation fields.

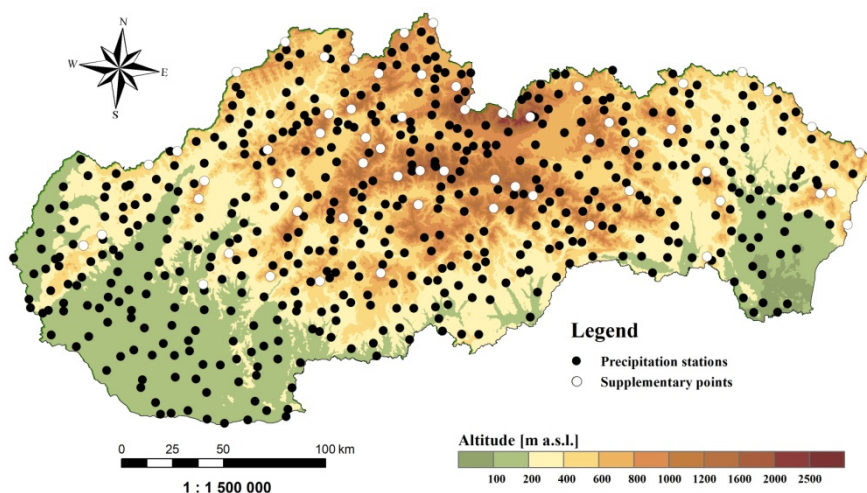
It can eventually allow us to better identify situations posing a potential risk due to heightened probability, that they may be accompanied by precipitation significant in terms of its intensity, duration, or totals. Spatial and temporal distribution of pressure systems, which leads to the occurrence of extreme 2-day precipitation situation, is de facto modelled by many factors. Among the most important factors, that can affect their genesis are, of course, processes taking place in the atmosphere, more particularly in its lowest layer - the troposphere, and the orographic diversity of the area, which together significantly affect the distribution of precipitation in selected area. For this reason, our study is constructed as a causal analysis of relationships between spatially localized tropospheric circulation, defined by the Czechoslovak catalogue of the synoptic situation types (Brádka, 1968), the predominant atmospheric flow and the spatial and temporal distribution of 2-day precipitation totals.

DATA AND STUDY AREA

New dataset of maximum sum of 2-day precipitation

For needs of our analysis, it was essential to create new representative data set obtained from the network of precipitation stations operated by the SHMÚ performing precipitation observations during the 1951–2010 period (Fig. 1). Eventually, 486 stations were selected, excluding

Figure 1.
Selected precipitation stations and supplementary points within the territory of Slovakia.



those, which could not be incorporated due to the data inconsistency or due to short, incomplete or unreliable time series of observations. Small portion of time series selected for the analysis still contained short-term interruptions. Missing data, however, did not in any case exceed 5% of the total number of maximum monthly 2-day precipitation totals for each station, and therefore could be fixed or calculated by using an expert approach based on the regression analysis and analogy between data measured at geographically related stations.

Maps of maximum 2-day precipitation were created using datasets obtained from selected precipitation stations. Spatial and vertical distribution of precipitation stations has proven to be inadequate for used interpolation tool. In order to improve the vertical distribution calculated for processed set of stations, resulting in a more realistic spatial distribution of maximum 2-day precipitation totals within the territory of Slovakia, there were (only in the process of creating maps) used 60 supplementary (virtual) points. (Fig. 1) These points were primarily located in the mountain areas – over 500 meters above sea level. In positions located at the elevation between 500–1000 meters 31 additional points were placed. Remaining 29 points were placed in the elevations between 1000–2000 meters. Exact placements of supplementary points were identified using methods based on expert spatial analysis of the existing field of precipitation stations conducted by Dr. Pavel Faško (Faško, personal communication, 2017). The values used in these virtual points were determined by a combination of simple regression and expert spatial analysis.

Maximum sum of 2-day precipitation

The maximum sums of 2-day atmospheric precipitation can be calculated by two slightly different methods – the standard and the modified method (Lapin et al., 2004). Standard processing method of 2-day precipitation totals represents situations where a non-zero daily precipitation total has to be recorded every day of selected 2-day period. Possible occurrence of day (or days) during which the precipitation were not registered or it's amount was not measurable (0.0 mm) means, that the total precipitation

amount for the considered period is excluded from the analysis. Such a relatively strict view of 2-day continuous precipitation totals is particularly preferred in hydrological practices. In climatology, on the other hand, it is also interesting and helpful to include precipitation periods incorporating one day without registered precipitation, but which could not be the first or last day of this selected 2-day period, because in that case we would be only dealing with shortened $n-1$ day period. This correction, of course, does not apply to 2-day totals.

The monthly maximum sum of 2-day precipitation totals therefore represents the highest value of all 2-day sums calculated from two successive days with the observed non-zero precipitation totals over the period of one month. Sums of precipitation totals measured at the turn of months were assigned to the month with higher share on total precipitation sum. This approach was also applied to maximum totals that occurred at the turn of years meaning, that there was the possibility that they could, in some cases, be also comprised of data outside of selected 1951–2010 period - data measured in December 1950 and January 2011, which were therefore subsequently included in our study.

METHODS

Selection of significant maximum 2-day precipitation totals

Our paper deals with a case study of carefully chosen situations with the highest spatial sums of atmospheric precipitation totals recorded within the network of precipitation stations operated by the SHMÚ. Presented methodology has been chosen to provide a more comprehensive view of the issue by not only identifying situations with recorded high 2-day totals, but also directly incorporating the necessary condition of sufficiently large area of their distribution.

The method used in the process of selecting significant 2-day precipitation events was based on the analysis of average monthly values of the maximum 2-day totals earned in a given month for each year of analysis as simple average of all station values. If, in any given year, the station did not record 2-day total and hence the maximum

2-day total, zero value was assigned to this station for the sake of preserving constant number of stations included in each step the analysis. After calculating the average monthly maximum values for the complete set of stations for all years in the 1951–2010 period, we selected the 5 highest values in each month of the calendar year and, together with the year of occurrence, there were selected for a subsequent synoptic analysis. This selection method eventually aggregated 60 different cases available for the consequent yearly occurrence analysis of significant weather conditions assigned to the surveyed maximum 2-day sums.

Identification of the period of occurrence

During the process of identifying the occurrence of significant weather conditions there have been identified those days within the selected 5 years with the highest average sums, in which these maximum sums were recorded. In the processing procedure there were used some designators of precipitation stations used by the SHMÚ within its regional precipitation stations network, that divides the territory of Slovakia into areas depending on their inclusion into river basins. Obtained 2-day totals were station-wide assigned to corresponding dates, based on regional analysis conducted using precipitation reports and datasets from selected profile stations in each river basin determined by station designators. The final extent of each selected 2-day precipitation event has thus been set within 2 to 7-day period.

Assignment of synoptic situation type

Process of defining the days, from which was each selected 2-day situation constituted, was followed by assignment to the corresponding synoptic situation type. Data sources selected for identification process were represented by specialized calendars of analysed synoptic situations containing analysis on day-to-day basis. For the period 1951–1990 a calendar elaborated for the territory of former Czechoslovakia (CHMI, 2017) was used and since 1991 a calendar of situations identified exclusively for the territory of Slovakia (SHMÚ, 2017) was applied. Publication of each annual calendar is necessarily preceded by mutual communication between the Czech Hydrometeorological Institute and the SHMÚ. In these analyses, however, are for technical reasons, not identified divisions among the synoptic situations of the same circulating type following directly one after another. The general large scale circulation typification used for the territory of Czechoslovakia and later of independent Slovakia is already from the process of its creation hampered by inaccuracies and the larger the territory we try to include under a narrowly defined typified situation, the greater are the potential detection inaccuracies. We have tried to minimize these impending identification errors with a detailed study of daily totals within 2-day precipitation situation, in order to ascertain given significant weather situation, taking into account the fact that, in the vast majority of cases, these large-scale circulating units are not stationary. Great diversity and dynamics of atmospheric processes often results in the

extended stay period of selected 2-day precipitation situations over the territory of Slovakia and thus, in many cases, subsequently leads to detection of two, exceptionally, up to three influencing typified situations. In the final process of assessing the occurrence of typified conditions, there have been, after analysing daily totals, selected one, if necessary two influencing typizations. This approach allowed us to create the input set containing 78 influencing synoptic situation type assigned to the set of 60 cases consisting of the five rainfall events with the highest spatial averages. This dataset was subsequently used in the impact analysis between synoptic situation types and the spatial distribution of the maximum sums of 2-day precipitation totals.

For more accurate identification of atmospheric circulation also archived reanalysed large-scale maps of geopotential levels 850 hPa and 500 hPa created by the US Global Circular Model - GFS or by the US Office for Ocean and Atmosphere (NOAA) were used.

Map processing

Data used in the map creating process originated in the network of precipitation stations distributed unevenly in space and most of all in altitude, which significantly affected the accuracy and realism of the calculated spatial distribution. For calculation of spatial distribution was therefore necessary to use computer software able to incorporate interpolation based on orography into the computation process. It resulted into better accounted morphological diversity which can significantly affect extent and distribution of the accounted precipitation activity. AGHydro-Interpolácia (Šercl, 2008) included as an extension in ArcGIS from ESRI was selected as a best program solution meeting our computational requirements.

RESULTS

Maximum sums of 2-day precipitation

The absolute highest sum of the maximum 2-day precipitation in 1951–2010 period (in a selected set of 486 precipitation stations) accounted for 219 mm, was measured at the Oravská Polhora - Hlina precipitation station on 17 and 18 July 1970. This station is situated in the north-western part of Slovakia in the Oravské Beskydy mountain range at an altitude of 698 meters. Maximum 2-day sums of precipitation totals over 200 mm occurred only during the summer months June and July, and in terms of their occurrence, we can consider them very unique, as within our network were only recorded 8 such cases, measured at 6 precipitation stations: Oravská Polhora - Hlina, Novot', Zuberec - Zverovka, Skalnaté Pleso, Tatranská Javorina and Borinka. Furthermore, it can be said, that the 2-day sum of the precipitation totals higher than 100 mm was at least once recorded at 306 stations, representing 63% of the whole set.

Spatial analysis of the highest values of maximum of 2-day precipitation totals (Fig. 2) is represented by significantly inhomogeneous field of values, indicating considerable impact of convective precipitation occurring mainly in the warm half-year (April – September) (Fig. 3). Domains of

high total values - over 160 mm are concentrated mostly in the north parts, in the Vysoké Tatry and Západné Tatry mountain ranges, in the north parts of Orava region and Kysuce region and in the southwestern Slovakia in the Malé Karpaty mountain range. Most of the area of Slovakia is contained in a relatively narrow value range from 80 to 120 mm. An isolated area of lowest values - under 80 mm, is situated on the Podunajská nížina lowland near the Slovak - Hungarian border. Spatial distribution of maximum 2-day precipitation totals during warm half year (Fig. 3) highly resembles overall distribution with major differences visible mainly in central part of our territory, specifically in the region of Nízke Tatry mountain range and in its neighbouring mountain ranges. In these areas can be observed more pronounced impact of precipitation fal-

ling during the cold half-year (October – March) (Fig. 4). During this part of year, are generally observed lower absolute values and more pronounced spatial variability of maximum precipitation totals. Areas of the highest achieved values - above 120 mm - are in the cold half-year, unlike in the previous cases, located mainly in the central part of the territory, namely in the region containing western parts of Nízke Tatry mountain range and Veľká Fatra mountain range. Areas with high values are also situated in its west and southeast neighbourhoods. On the opposite side of the value spectrum, could be observed relatively extensive areas with sums below 60 mm, containing smaller nested areas below 50 mm, located in the northeast part of the territory, and in southwestern and south-eastern lowlands.

Figure 2.
Maximum 2-day precipitation totals in Slovakia in the 1951 – 2010 period.

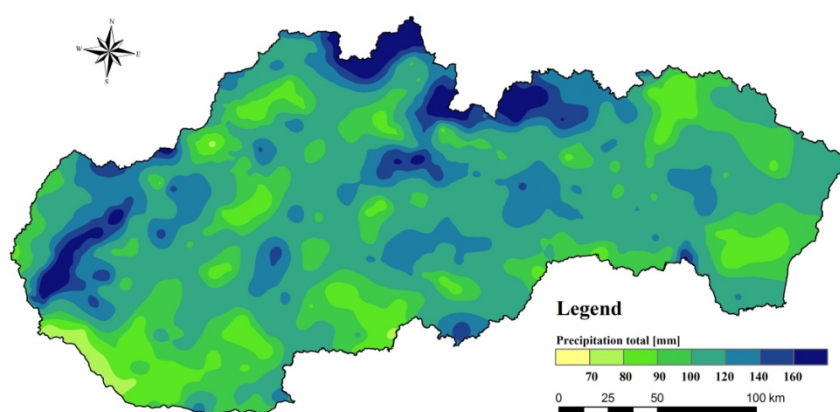


Figure 3.
Maximum 2-day precipitation totals during the warm half-year in Slovakia in the 1951 – 2010 period.

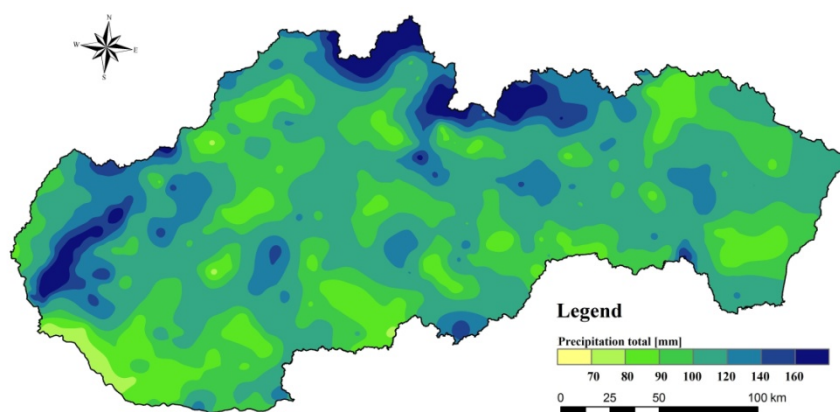


Figure 4.
Maximum 2-day precipitation totals during the cold half-year in Slovakia in the 1951 – 2010 period.

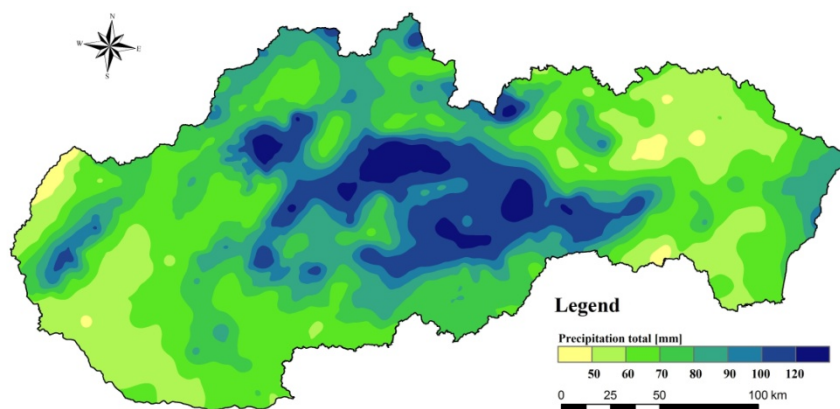


Table 1. Average monthly values of maximum 2-day precipitation totals > 50 mm in Slovakia in the 1951–2010 period with included values of highest (MAX) and lowest (MIN) 2-day totals, upper decile (D9), upper quantile (Q3), median (MEDIAN), lower quantile (Q1), lower decile (D1), standard deviation (STDEV), coefficient of variation (CV), coefficient of skewness (CS).

Rank	Average [mm]	Year	Month	Date of occurrence	MAX	MIN	D9	Q3	MEDIAN	Q1	D1	STDV	CV	CS
1	63.0	1997	VII	07 - 08	205.6	19.7	97.6	76.9	60.6	44.1	44.1	25.8	0.407	1.195
2	59.8	1955	VIII	04 - 05	165.1	10.8	99.0	75.6	54.7	38.7	38.7	27.0	0.460	0.838
3	59.4	1974	X	20 - 21	176.3	17.0	94.4	70.8	54.8	42.4	42.4	24.7	0.414	1.182
4	57.9	1958	VI	27 - 29	214.8	9.3	95.2	72.3	50.0	35.6	35.6	31.5	0.547	1.661
5	57.3	1960	VII	23 - 25	137.1	8.9	82.5	69.4	56.3	42.8	42.8	19.9	0.347	0.534
6	53.9	2010	VI	31 - 04	143.3	15.1	74.0	61.6	51.8	43.5	43.5	16.1	0.297	1.311
7	53.6	1999	VII	07 - 08	161.0	11.7	81.0	62.7	49.1	39.0	39.0	21.6	0.403	1.698
8	53.3	2010	V	15 - 16	162.3	22.6	81.9	62.5	48.9	39.1	39.1	20.6	0.384	1.559
9	53.1	1985	VIII	07 - 08	148.5	17.0	81.9	63.2	52.3	40.0	40.0	19.3	0.360	0.858
10	53.1	2007	IX	04 - 08	127.6	10.8	82.1	67.3	51.6	38.9	38.9	21.1	0.395	0.473
11	51.5	1976	XII	01 - 02	141.1	9.0	91.1	66.2	44.7	30.3	30.3	27.4	0.535	0.942
12	51.2	2001	VII	16 - 17	138.0	10.5	82.7	62.9	47.1	33.4	33.4	23.2	0.453	1.071
13	51.2	2005	VIII	03 - 04	122.6	20.9	72.6	58.5	48.9	40.1	40.1	15.7	0.305	1.098
14	50.1	1999	VI	16 - 22	135.8	9.0	80.5	63.4	46.9	32.8	32.8	21.8	0.435	0.603

Maximum average values

The analysis of the absolutely highest values of the maximum 2-day precipitation totals provides a good point of view on distribution of extreme values, but not suitable for a large-scale study dealing with the effects of significant synoptic situation type on 2-day precipitation totals. Use of average values calculated for a complete set of 486 precipitation stations represents a relatively simple and accurate means for determining precipitation events with greater spatial impact, since its resulting value and its designation is greatly dependent on the number of stations reaching maximum 2-day precipitation totals simultaneously.

The absolute highest average value, and at the same time, the only total with value above 60 mm, was reached on July 7–8, 1997 and amounted for 63.0 mm. The second (59.8 mm) and third (59.4 mm) highest values were calculated for August 4 to August 5, 1955 and October 20 to October 21, 1974 respectively. Within the entire set comprised of 720 values of average monthly 2-day totals, values greater than 50 mm were achieved only 14 times, of which even 10 in the summer season (June–August), and up to one example in May, September, October and December. In 1999 and 2010, were average totals above 50 mm recorded in two consecutive months (1999 - June and July, 2010 - May and June) (Tab. 1).

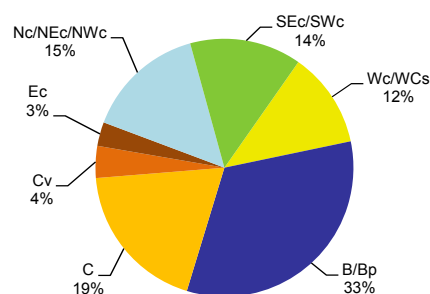
Dynamical-climatological analysis of maximum average values

In order to maintain the transparency and informative value of obtained results were based on the relative geographic position of the synoptic situation type towards the territory of Slovakia, using the cluster analysis, created 9 main groups (clusters), consisting of one, two or three typified situations. Using this method was for cyclonic types subsequently obtained 7 clusters – 1. trough of low pressure over the central Europe and trough moving over the central Europe (B/Bp); 2. cyclone over the central Europe (C); 3. the upper level cyclone (Cv); 4. eastern cyclonic situation (Ec); 5. northern cyclonic situations (Nc/NEc/NWc); 6. southern

cyclonic situations (SEc/SWc) and 7. western cyclonic situations (Wc/Wcs). Anticyclonic and transient situations were thus each assigned into its own one clusters – 8. entrance to the frontal zone (Vfz) and 9. anticyclonic situations.

In section of our analysis that deals with representation of synoptic situation types on the spatial distribution of maximum 2-day precipitation totals, we worked with the collection of 60 cases consisting of five 2-day precipitation events with the highest spatial averages for each month of year. Taking into account, that the extent of each selected 2-day precipitation event has been previously set within 2 to 7-day period each event could be represented by one or two typified situation. Final analysed input set consisted of 79 significant precipitation events – 41 one-situation events and 19 two-situation events.

Figure 6. Percentage of synoptic situation types occurring during events with the highest average maximum 2-day precipitation totals in Slovakia in the 1951–2010 period.



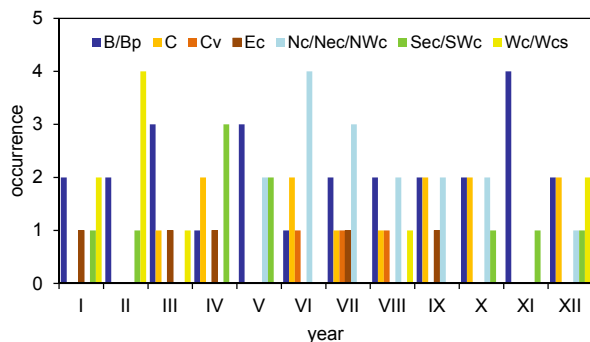
Obvious dominance of the B/Bp cluster (by 1/3 representation) was detected when analysing percentage of synoptic situation types during events with the highest average values, regardless of the month of their occurrence (Fig. 6). It is interesting to note, that this approach does not include the precipitation event from the 1970s, when the absolutely highest 2-day total was measured, as it did not appear to be significant when the entire set of stations was taken into account. Significant percentage was also de-

tected in case of cyclonic circulation types with central, northern and southern positions. Occurrence of the upper level cyclonic situations, together with occurrence of the east cyclonic cluster, did not even reach 5% representation.

Pronounced differences were detected within the cluster-based analysis of the absolute frequency of occurrences for synoptic situation types in the months of calendar year (Fig. 7). For each month were identified from 2 to 5 detected influencing clusters, the most (5) in July, August and December, and the least (2) in November, which also saw considerable prevalence of a B/Bp cluster.

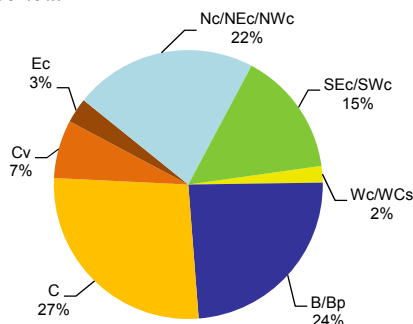
A better view on distribution and the possible change in the impact of selected clustered circulating types during year can be achieved by a separate analysis using, in climatology common division, the warm half-year (April – September) (Fig. 8) and the cold half-year (October – March) (Fig. 9).

Figure 7. Number of individual synoptic situation types occurring during events with the highest average maximums of 2-day precipitation totals within months of the year in Slovakia in the 1951 – 2010 period.



In the warm half-year was identified a significantly higher percentage of central cyclonic situations (C) (8% relative increase) and situations within the northern cluster (Nc/NWc/NEc) (7% relative increase) at the expense of B/Bp and Wc/Wcs clusters (relative decrease by 9% and 10% respectively). Percentage of circulating types from the southern circulation cluster (SEc/SWc) remained almost unchanged. Changes in the relative occurrence of synoptic situation types have also been reflected in the detections of

Figure 8. Percentage of synoptic situation types occurring during events with the highest average maximum 2-day precipitation totals in the warm half-year in Slovakia in the 1951 – 2010 period.



the months with the highest average totals. The highest values occurred during activity of the northern circulation cluster with in up to three months (May, July, August), while no highest values were recorded during activity of cluster B/Bp.

Summer months of July and August can be presented as a typical period, during which there can be, in the warm half-year, observed large-scale atmospheric circulation necessary for occurrence of 2-day precipitation events affecting large areas of Slovak republic. Spatial distribution of stations with the highest values of the maximum 2-day precipitation totals calculated for five situations with the highest average values is, in this part of year, significantly impacted by situations with convective origin occurring during July (Fig. 10). This statement is validated by the fact, that relatively high number of stations with high precipitation totals originated within events with the highest average values (1957 - SWc1/C, 1960 - NEc, 1997 - NEc, 1999 - Cv/Ec) was located in lowland sites in the western and eastern parts of Slovakia. In 1999, there can be even observed an obvious path of precipitation with convective origin progressing in the SE - NW direction from the central part of the Podunajská nížina lowland over the Malé Karpaty mountain range and the Záhorie region.

In the cold half-year can be observed a significantly different relative distribution of clusters detected during precipitation events with the highest recorded average totals (Fig. 9). Unlike in the warmer half-year, in this part of year there was recorded (in comparison to the year-round relative distribution) not only a significantly higher percentage of Wc/WCs and a B/Bp clusters (increase of 10%), but during the month of January, February and March, even the highest average values during these circulation types. A significantly smaller percentage was recorded for circulation type C (8% relative decrease) and Nc/NEc/NWc cluster (7% relative decrease). These two circulation types played the most important role in generating the highest maximum 2-day totals during the warm half-year. Percentage of the southern and eastern cyclonic situations remained there without any significant change. It can be also further noted, that during this period, circulation type Cv was not assigned to any situation with highest maximum precipitation totals.

Figure 9. Percentage of synoptic situation types occurring during events with the highest average maximum 2-day precipitation totals in the cold half-year of the 1951 – 2010 period.

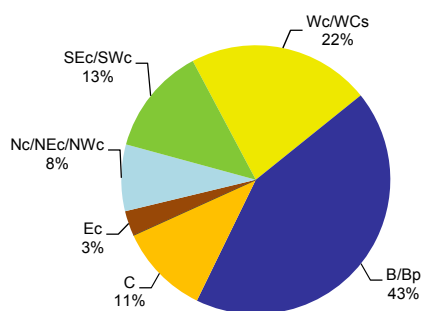


Figure 10.
Position of 50 stations
with the highest 2-day
precipitation totals
measured in July during
events with the highest
calculated average values
in Slovakia in the
1951–2010 period.

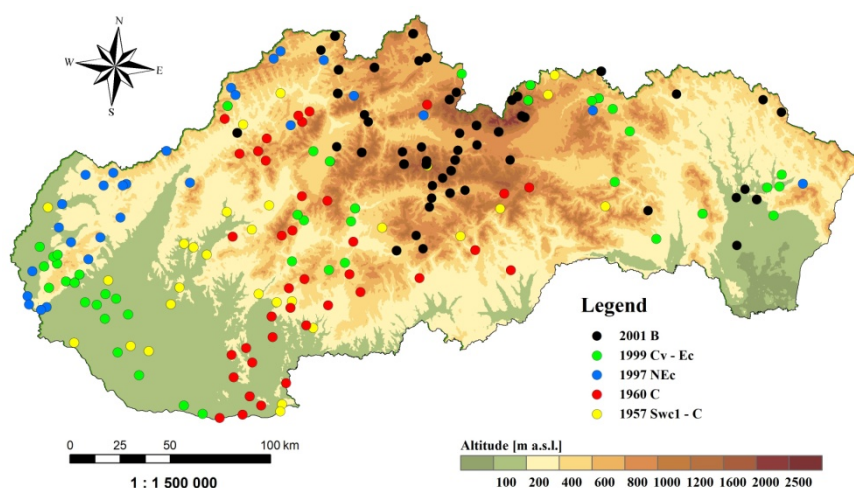
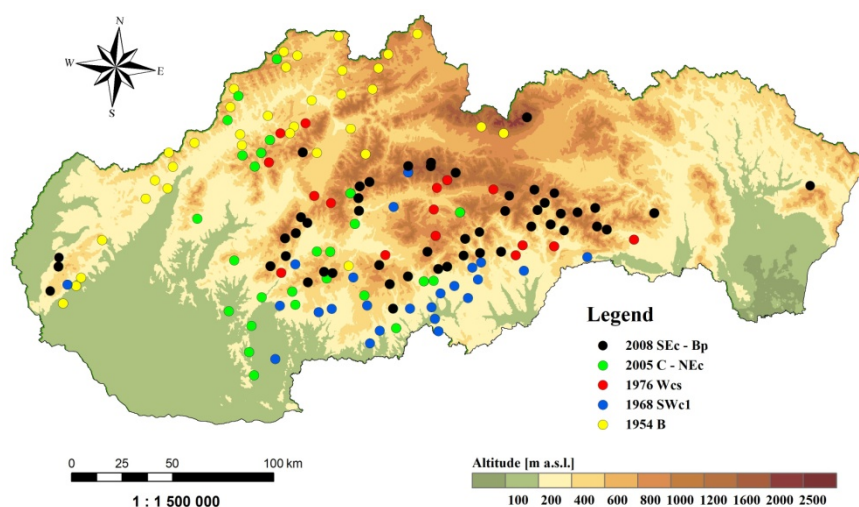


Figure 11.
Position of 50 stations
with the highest 2-day
precipitation totals
measured in December
during events with
the highest calculated
average values
in Slovakia in the
1951–2010 period.



The change in the original nature of precipitation, from convective to continuous lead to the emergence of high maximum 2-day precipitation totals. This change was also responsible for total transformation of synoptic situation types and affected their occurrence during the cold half-year. It likewise manifested as a change in the spatial distribution of stations with the highest maximum precipitation totals. The spatial distribution of the maximum values calculated for 5 events with highest average maximum precipitation totals displayed, mainly in months of October and December (Fig. 11), a typical placement on the southern slopes in the mountainous regions in the central part of Slovakia during wide range of synoptic situation types. The highest average totals measured during these months were conditioned by influence of the circulating types C in October 1974 and Wcs in December 1976.

CONCLUSION

Our paper deals with the study of the maximum 2-day atmospheric precipitation totals in the Slovak Republic in the period 1951–2010 in terms of their spatial and temporal distribution with a goal to create dynamic-climatological analysis of the synoptic situations, which lead to the occurrence of extreme 2-day rainfall situation.

Based on our research, it can be stated, that high values of the maximum 2-day atmospheric precipitation totals in the period 1951–2010 were achieved, within the network of 486 precipitation stations with high quality time series, mainly in the warm half-year and showed a significant dependency on the orography. The absolute highest maximum 2-day total obtained over the selected 2-day interval exceeded 200 mm was measured in July at precipitation stations located in the mountainous areas of the northwest Slovakia in the Orava region. We have also observed significant variability in the spatial distribution of 2-day precipitation totals. This fact is particularly obvious in the second half of spring and in summer. This result can be most likely assigned to the strengthened impact of convective precipitation resulting in suppressed range of observed orographic effects.

The spatial average of the maximum precipitation totals used to detect the occurrence of spatially significant precipitation events reached its highest value within the May–October period. The highest spatial sums were recorded in July, with spatial averages exceeding 60 mm values. The maximum means, independent of the month of occurrence, were recorded during the occurrence of low pressure trough (B/Bp) and cyclone over the central Europe (C). Interesting differences in the relative occurrence of individual circulation types were observed after dividing

the year into warm half-year (April–September) and cold half-year (October–March). In the warm half of the year, it was recorded a more pronounced impact of the northern cyclonic cluster (N/NWc/Nec), while cold half year was dominated by low pressure trough (B/Bp) and western cyclonic situations clusters (Wc/Wcs).

Conducted dynamic-climatological analysis has highlighted the fact, that even the regional Czechoslovak typisation of significant synoptic situations, can provide, despite its significant subjectivity, very good results. Obtained results are in good correlation with known effects of atmospheric circulation on precipitation concluded from the yearlong climatological practice. In the future, however, it would be suitable to confront our results with objective – automatized dynamic-climatological methods, based on complex numerical analysis of atmospheric circulation and analyse prevailing directions of the atmospheric flow occurring during significant 2-day precipitation events.

REFERENCES

- Bintanja, R.–Van Oldenborgh, G. J.–Drijfhout, S.S.–Wouters B.–Katsman C.A., 2013, Important role for ocean warming and increased ice-shelf melt in Antarctic sea-ice expansion, *Nature Geoscience* 6, 376–379.
- Brádka, J., a kolektív HMÚ, 1968, Typizace v meteorologii, *Meteorologické Zprávy, ČHMÚ, Praha*.
- Brádka, J.–Dřevíkovský, A.–Gregor, Z.–Kolesár, J., 1962, Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Praha, HMÚ. 32 s.
- Brázdil, R.–Štekl, J., 1986, Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR, *Univerzita J. E. Purkyně, Brno, ISSN 0323-018X*.
- ČHMÚ, 2017, Typizace povětrnostních situací pro území České republiky, *Kalendář pro jednotlivé roky, Praha*, dostupné online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/typizace-pove-trnostnich-situaci>.
- Faško, P.–Lapin, M.–Šťastný, P.–Vivoda, J., 2000, Maximum Daily Sums of Precipitation in Slovakia in Second Half of 20th Century, *Prace Geograficzne, zeszyt 108, Instytut Geografii UJ, Kraków*.
- Faško, P.–Šťastný, P.–Švec, M.–Kajaba, P., 2015, Výskyt a priestorové rozloženie vysokých denných a viacdenných úhrnov zrážok na Slovensku, *Manažment povodí a povodňových rizík 2015 a Hydrologické dni 2015, ÚH SAV, Bratislava*.
- Faško, P.–Šťastný, P.–Vivoda, J., 2003 The orography influence on the maximum daily sums of precipitation in Slovakia. 27-th International Conference on Alpine Meteorology, 19 to 23 May, Brig, Switzerland.
- Gaál, L.–Lapin, M., 2002, Extreme several day precipitation totals at the Hurbanovo observatory (Slovakia) during the 20th century. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, vol. 32 no. 3, 197–213.
- Jurčová, S.–Kohnová, S.–Szolgay, J.–Gaál, L., 2002, K výberu vhodnej distribučnej funkcie maximálnych 5-denných úhrnov zrážok, *Acta Hydrologica Slovaca*, 2002, vol. 3, no. 2, 165–173.
- Kohnová, S.–Lapin, M.–Szolgay, J.–Gaál, L., 2005, Methodology for the selection of 10-day maximum precipitation totals and their statistical analysis in the upper Hron region, *Contributions to Geophysics and Geodesy* 35, 299–318.
- Kohnová, S.–Gaál, L.–Szolgay, J.–Hlavčová, K., 2006, Regional estimation of design 10-day precipitation totals in the upper Hron region. *Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava*.
- Kyselý, J., 2009, Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. *International Journal of Climatology*, 29, 1745–1758.
- Lapin, M.–Damborská, I.–Faško, P.–Melo, M.–Šťastný, M., 2000, Scenarios of Climatic Extremes for Slovakia, *Prace Geograficzne, zeszyt 108, Instytut Geografii UJ, Kraków*.
- Lapin, M.–Gaál, L.–Faško, P., 2004, Maximálne viacdenné úhrny zrážok na Slovensku, *Seminár „Extrémy počasi a podnebí“*, Brno, 2004, ISBN 80-86690-12-1.
- Lapin, M.–Gaál, L.–Faško, P.–Vojtek M.–Martini, M., 2003, Analysis of the 1- 2-, 5-day precipitation totals in the territory of Slovakia in the period 1951–2000. *Project POVAPSYS, HZ 191-100-2003: 14 pp, 6 maps*.
- Lapin, M.–Tomlain, J., 2001, Všeobecná a regionálna klimatológia. Vydavateľstvo UK, Bratislava, ISBN 80-223-1433-1.
- Majerčáková, O.–Faško, P.–Šťastný, P.–Marikovičová, J., 2004, Nové požiadavky na hodnotenie významných zrážkových úhrnov. *Seminár „Extrémy počasi a podnebí“*, Brno, 2004, ISBN 80-86690-12-1.
- Markovič, L., 2017, Analýza maximálnych dvojdenných a päťdenných úhrnov atmosférických zrážok na území Slovenska v období 1951–2010. [Diplomová práca]. *Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Oddelenie astronómie, fyziky Zeme a meteorológie. Bratislava*. 73 s.
- Markovič, L.–Faško, P.–Bochníček, O., 2016, Zmeny dlhodobých priemerných mesačných a ročných úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. *Acta Hydrologica Slovaca*, č. 2, 2016, ÚH SAV, Bratislava, 235–242.
- Pecho, J.–Faško, P.–Lapin, M.–Kajaba, P.–Mikulová, K.–Šťastný, P., (2010): Extrémne atmosférické zrážky na jar a na začiatku leta 2010 na Slovensku. In: *Meteorologický časopis*. 13 (2–3): 69–80.
- Pedersen, A.R.–Cvijanovic, I.–Langen, L.P.–Vinter, M.B., 2016, The Impact of Regional Arctic Sea Ice Loss on Atmospheric Circulation and the NAO. *Journal of Climate*. 29, 889–902. 151027112455001. 10.1175/JCLI-D-15-0315.1.
- Pecho, J.–Faško, P.–Mikulová, K.–Šťastný, P., 2006, Objektívna priestorová analýza dlhodobých priemerov teploty vzduchu a maximálnych denných úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. In: *Bioklimatológia a voda v krajine. Zborník príspevkov z medzinárodnej konferencie 8 s. CD-ROM, ISBN 80-89186-12-2*.
- SHMÚ, 2017, Typy poveternostných situácií, SHMÚ, Bratislava, dostupné online : <http://www.shmu.sk/sk/?page=8>.
- Stehlová, K.–Kohnová, S.–Szolgay, J., 2001, Analýza dvojdňových úhrnov zrážok v oblasti horného Hrona. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2001, vol. 2, no. 1, 167–174.
- Stehlová, K.–Kohnová, S.–Szolgay, J., 2001, Regionálna analýza maximálnych 2-dňových zrážok v oblasti horného Hrona, *Acta Hydrologica Slovaca*, 2002, vol. 3, no. 2, p. 174–182.
- Šamaj, F.–Valovič, Š.–Brázdil, R., 1985, Daily high-intensity rainfall in CSSR during the period 1901 to 1980, *Zborník prác SHMÚ č. 24. ALFA, Bratislava*.
- Šercl, P., 2008, AGHydroInterpolace (Interpolating Procedures for ArcGIS), *Užívateľská príručka. Praha, ČHMÚ*. 18 pp.
- Vihma, T., 2014, Effects of Arctic Sea Ice Decline on Weather and Climate: A Review, *Surveys in Geophysics, Volume 35, Issue 5*, 1175–1214.
- Wetterzentrale, 2017, NCEP Reanalysis, Dostupné online: <http://old.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaur.html>.

INFORMÁCIE

INFORMATION

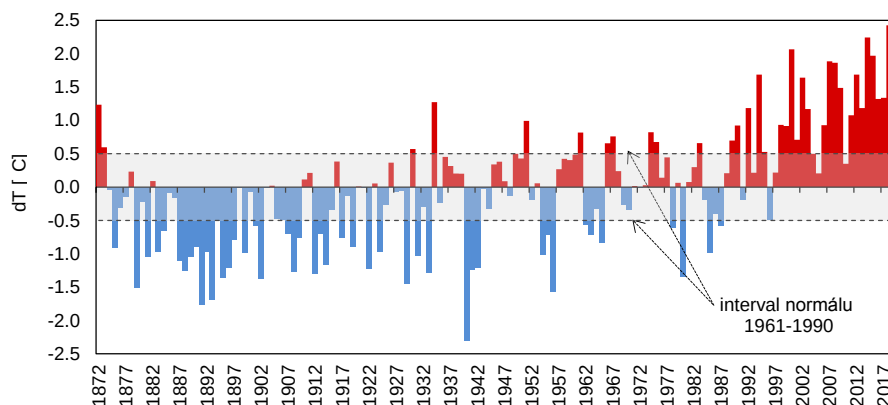
KLIMATOLOGICKÉ ZHODNOTENIE ROKA 2018

Rok 2018 skončil na väčšine územia Slovenska ako mimoriadne až extrémne teplý, pričom najmä na juhu západného a východného Slovenska to bol vôbec najteplejší rok v histórii meteorologických meraní a pozorovaní (v Hurbanove bol rok 2018 najteplejší od roku 1871, Obr. 1). V roku 2018 bola na doteraz najväčšom počte meteorologických a klimatologických staníc v rámci Slovenska dosiahnutá priemerná ročná teplota vzduchu 12,0 °C a viac. V Žihárcoch bola priemerná ročná teplota v roku 2018 dokonca až 13,0 °C, pričom dosiahnutie tejto hodnoty bolo zaznamenané vôbec po prvýkrát v histórii meteorologických meraní na území Slovenska. Na staniciach, ktoré v roku 2018 zaznamenali prekonanie doteraz najteplejšieho roka, je nová rekordná hodnota o 0,1 až 0,4 °C vyššia v porovnaní s predchádzajúcim rekordným rokom (tento bol zaznamenaný prevažne v roku 2014, avšak niekde aj v roku 2013, alebo 2015). Výrazným a dlhotrvajúcim fenoménom minulého roka bolo sucho. Okrem mimoriadne teplých podmienok (ako teplotne nadnormálne skončili všetky ročné sezóny a okrem februára, marca a decembra aj všetky ostatné mesiace v roku 2018) vývoj sucha v minulom roku významne podporil len sporadický výskyt výdatnejších plošných zrážok a ich prehlbujúci sa deficit, predovšetkým na východnom a severo-

západnom Slovensku. Sucho sa pritom v minulom roku premietlo aj do významných strát výnosov niektorých plodín.

The year 2018 was extremely warm in the most of the territory of Slovakia, while especially in the south of western and eastern Slovakia it was the warmest year in the history of meteorological measurements and observations (in Hurbanovo, 2018 was the warmest year since 1871). In 2018, annual mean air temperature over 12.0 °C was reached at considerable large number of meteorological and climatological stations in Slovakia, while in Žihárec, annual mean temperature in 2018 was even up to 13.0 °C. This extremely high value of air temperature was recorded for the first time ever in the history of meteorological measurements in Slovakia. At the stations that experienced the hottest year in 2018, the new record value was of 0.1 to 0.4 °C higher compared to the previous record year (this was mostly in 2014, but somewhere in 2013, or even 2015). Meteorological and extreme soil drought was the most significant climatic phenomenon of the past year. In addition to the extremely hot conditions (in terms of air temperature all seasons in 2018 were much above normal, as well as February, March and December 2018), the sporadic occurrence of atmospheric precipitation contributed significantly to the drought in Slovakia over the last year. In the past year, drought was also reflected in significant losses of some crop yields.

Obrázok 1.
Odchýlka priemernej ročnej
teploty vzduchu (dT) od
normálu 1961–1990 na
meteorologickej stanici
v Hurbanove v období
rokov 1872–2018; interval
normálu 1961–1990
zodpovedá kritériu teplotne
normálnych rokov medzi
dolným a horným kvartilom
distribúcie dT ($\pm 0,5$ °C)
(Zdroj: SHMÚ).



Globálna teplota

Na základe analýzy údajov piatich globálnych databáz teploty povrchu pevnín a oceánov (NASA, NOAA, CRU, JMA, Berkeley + ERA-Interim [1, 2, 3, 4]), odchýlka globálnej teploty v roku 2018 bola približne o $+1,0^{\circ}\text{C}$ vyššia ako v období 1850–1900, a o $+0,83^{\circ}\text{C}$ vyššia ako v období 1951–1980. Rok 2016 ostáva, aj v dôsledku účinku teplej (pozitívnej) fázy ENSO – El Niño, zatiaľ najteplejším rokom za posledných aspoň 138 rokov, s odchýlkou $+1,2^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s pred industriálnym obdobím. Pokračujúci dlhodobý trend otepľovania globálneho klimatického systému spojený s rekordne vysokými [globálnymi] koncentraciami skleníkových plynov prispel k veľmi nápadnej kumulácii najteplejších rokov do obdobia posledných piatich rokov (2014–2018; poradie od najteplejšieho roka: 2016, 2017, 2015, 2018 a 2014). Podľa údajov zverejnených európskym monitorovacím programom Copernicus (Climate Change Service), rok 2018 skončil v Európe ako tretí najteplejší, za rokmi 2014 a 2015, a to aj napriek tomu, že teplý polrok (apríl až september 2018) bol v Európe vôbec najteplejší v období posledných 40 rokov.

Priestorové spracovanie odchýlok teploty povrchu pevnín a oceánov - podľa GISS NASA (porovnanie s 1951–1980) a NOAA (porovnanie s 1981–2010) - poukazuje na výrazné pozitívne odchýlky priemernej ročnej teploty, a to hlavne v priestore severnej pologule (Európa, Blízky a Stredný Východ, východná Arktída, atď.; odchýlka $+2,0$ až $+4,0^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s 1951–1980). Keďže pri hodnotení priebehu pokračujúcej zmeny klímy je dôležitejším ukazovateľom dlhodobý trend vývoja teploty ako poradie jednotlivých rokov, potrebné je zdôrazniť, že rýchlosť otepľovania je nápadne vyššia najmä nad pevninami severnej pologule a v priestore Arktídy, kde sa za posledných približne 50 rokov zvýšila priemerná ročná teplota o takmer 3°C (pre porovnanie, v regióne strednej Európy je pozorované zvýšenie v rozmedzí od $1,5$ do $2,0^{\circ}\text{C}$). Ďalšou významnou skutočnosťou je fakt, že minimálne od 70. rokov 20. storočia sa pevniny (v priemere) otepľujú približne dvojnásobne rýchlejšie ako oceány, pričom priemerný nárast teploty nad pevninami - v porovnaní s obdobím 1880–1920 - je do roku 2018 približne $+1,6^{\circ}\text{C}$ (nad oceánmi $+0,8^{\circ}\text{C}$). Dôvodom sú nielen v priemere vyššie koncentrácie skleníkových plynov nad pevninami severnej pologule, ale aj odlišné podmienky radiačnej bilancie povrchu pevnín a oceánov. Výrazná miera oteplenia je v období od roku 1970 nápadná aj pri hodnotení medzidekádných zmien globálnej teploty. V porovnaní s obdobím druhej polovice 19. storočia sa globálny priemer teploty vzduchu do roku 2018 (z hľadiska hodnotenia dekádných priemerov) zvýšil o približne $0,94^{\circ}\text{C}$, pričom len v priebehu posledných piatich desaťročí (1968–2018) sa na globálnej úrovni oteplilo až o $0,72^{\circ}\text{C}$.

Skleníkové plyny

Zvyšujúca sa globálna koncentrácia skleníkových plynov (najmä CO_2 , CH_4 a N_2O) je hlavnou príčinou klimatickej zmeny, pričom tento nárast je výsledkom nevyrovnanej bilancie medzi emisiami skleníkových plynov z ľudských (antropogénnych) zdrojov a ich pohlcovaním (záchyťom)

biosférou a oceánmi. Podľa správy Svetovej meteorologickej organizácie, WMO [5], koncentrácia hlavných skleníkových plynov dosiahla v roku 2017 opäť rekordne vysoké hodnoty: $405,5 \pm 0,1$ ppmv v prípade CO_2 (oxid uhličitý), 1859 ± 2 ppbv v prípade CH_4 (metán) a $329,9 \pm 0,1$ ppbv v prípade N_2O (oxid dusný). Uvedené hodnoty predstavujú nárast o 146 %, 257 %, resp. 122 % v porovnaní s predindustriálnym obdobím (pred rokom 1750). Oficiálne údaje o priemernej globálnej koncentrácii CO_2 , CH_4 a N_2O za rok 2018 nebudú k dispozícii skôr ako v druhej polovici roku 2019, no predbežné údaje potvrdzujú pokračujúci nárast koncentrácie aj v roku 2018.

Oceány

Viac ako 90 % tepla generovaného zosilneným skleníkových efektom atmosféry je absorbované oceánmi. Dlhodobý vývoj tepelného obsahu oceánov (Ocean Heat Content - OHC) v horných 700, resp. 2000 metroch vodného stĺpca oceánov, patrí medzi najkonzervatívnejšie a najkonzistentnejšie indikátory prebiehajúceho otepľovania (hodnoty OHC majú len minimálnu časovú premenlivosť). Trojmesačné priemery OHC v období od januára do septembra 2018 boli v úrovni do 700, resp. 2000 metrov rekordne vysoké, prípadne druhé najvyššie od roku 1955, resp. 2005 (najvyššie po roku 2017). Globálne údaje o úrovni [priemernej] hladiny svetových oceánov (GMSL) dostupné do konca roka 2018 ukazujú, že v období od januára do júla 2018 GMSL bola o 2 až 3 mm vyššia ako v porovnateľnom období v roku 2017. GMSL tak ostáva na veľmi vysokej úrovni ($+8$ cm v porovnaní s obdobím v roku 1993) po tom, ako medzi obdobiami 2014–2016 (v dôsledku javu El Niño) vzrástla jej hodnota o takmer 2 cm. Správa WMO ďalej uviedla aj niekoľko zaujímavých detailov o procese známom tiež ako acidifikácia oceánov (pokles pH morskej vody), ku ktorému dochádza v dôsledku vyššej absorpcie CO_2 oceánmi. Odhaduje sa, že v období posledného desaťročia oceány pohltili približne 25 % celkových antropogénnych emisií CO_2 . V poslednej správe Medzivládneho panelu o zmeny klímy správe IPCC AR5, 2013, [6] z roku 2013 sa uvádza, že v dôsledku acidifikácie poklesla priemerná globálna hodnota pH morskej vody o 0,1 v období posledných 250 rokov, čo je podľa IPCC jedna z najrýchlejších zmien pH v známej geologickej histórii Zeme (v správe sú, okrem iného, uvedené aj konkrétne negatívne dôsledky poklesu pH na morský život, predovšetkým na morské mikroorganizmy - planktón a koralý).

Morské zaľadnenie

Rozsah morského zaľadnenia v Arktíde bol v priebehu roka 2018 výrazne pod dlhodobým priemerom, pričom tak marcové maximum ($14,48$ mil. km^2 , 7 % pod priemerom 1981–2010) ako aj septembrové minimum ($4,62$ mil. km^2 , 28 % pod priemerom 1981–2010) dosiahli veľmi nízke hodnoty - tretí, resp. šiesty najmenší rozsah od roku 1979. Veľmi pozoruhodným je fakt, že 12 najnižších hodnôt rozsahu morského zaľadnenia v septembri sa v Arktíde vyskytlo od roku 1979 v období posledných 12 rokov, medzi rokmi 2007 a 2018. Podobne ako v Arktíde, aj cel-

kový priestorový rozsah morského zaľadnenia v Antarktíde bol pod dlhodobým priemerom. Septembrové maximum (17,82 mil. km²) bolo piate najmenšie od roku 1979 a bolo 5 % pod dlhodobým priemerom tejto charakteristiky (1981 – 2010).

Tropické cyklóny (búrky)

V období od 1. januára do 20. novembra 2018 bolo na Zemi zaznamenaných 70 tropických cyklón (dlhodobý priemer je 53), pričom ich početnosť bola nadpriemerná vo všetkých štyroch sledovaných regiónoch severnej pologule. Mimoriadne aktívna bola predovšetkým sezóna tropických cyklón (tajfúnov) v západnom Tichom oceáne. V tejto oblasti sa vyskytli aj dve najsilnejšie tropické cyklóny v roku 2018 – tajfún Mangkhut, ktorý zasiahol severné Filipíny, Hong-Kong a južnú Čínu, a tajfún Yutu, ktorý zdevastoval súostrovie Mariany (ostrovy Saipan a Tinian). Medzi ďalšie pozoruhodné tropické cyklóny patrili tajfún Jebi (najsilnejší tajfún v Japonsku od roku 1993), tajfún Son-Tinh (spôsobil rozsiahle povodne vo Vietname a Laose) a tajfún Soulik (povodne v oblasti Kórejského polostrova). V regióne Atlantického oceánu rozsiahle škody a straty na ľudských životoch spôsobili hurikány Florence a Michael.

Povodne a extrémne zrážky

Mimoriadne až extrémne úhrny atmosférických zrážok spôsobili v niektorých regiónoch sveta v roku 2018 vážne povodňové situácie. Veľmi rozsiahle boli povodne v juho-východnej Indii (štát Kerala) v priebehu augusta 2018. Podľa správy WMO [5] išlo o najhoršie povodne v tejto časti Indie od 20. rokov 20. storočia. V priebehu júna a júla 2018 zasiahli rozsiahle povodne aj západnú časť Japonska (v priebehu 48 hodín tu spadlo miestami viac ako 1000 mm zrážok), kde prišlo o život 230 ľudí. Významné povodne lokálneho alebo regionálneho rozsahu boli pozorované v priebehu októbra 2018 aj v niektorých oblastiach Stredomoria (najmä v Taliansku). Z hľadiska zrážok, a predovšetkým celkovej akumulácie snehovej pokrývky, pozoruhodná bola zima 2017/2018 v oblasti západných Álp, kde napríklad v Švajčiarsku (Arosa) zaznamenali historicky druhú najvyššiu celkovú akumuláciu novej snehovej pokrývky za obdobie troch zimných mesiacov (od decembra do februára) - 5,3 metra.

Vlny horúčav a sucho

Mimoriadne nadnormálne teplotné podmienky, sprevádzané závažným suchom, zasiahli v závere jari a v priebehu leta 2018 rozsiahle oblasti Európy (predovšetkým juhozápadnú, západnú a severnú Európu, vrátane Britských ostrovov). V priebehu júla a augusta boli zaznamenané mimoriadne vysoké denné teploty vzduchu aj v oblastiach severného polárneho kruhu, predovšetkým vo Fínsku. Dlhodobé suché podmienky s výrazným zrážkovým deficitom pretrvávali v priebehu teplého polroka 2018 najmä v Nemecku, Českej republike, Dánsku, v západnom Poľsku, Holandsku, Belgicku a v niektorých oblastiach Francúzska. Sucho v roku 2018 viedlo v krajinách západnej Európy k značným

stratám výnosov niektorých poľnohospodárskych plodín. Napríklad v Nemecku klesli výnosy kukurice až o 43 % a zemiakov o 21 %. Značné materiálne aj ľudské straty si v minulom roku vyžiadali aj lesné požiare. Zvlášť tragická bola situácia 23. júla 2018 na polostrove Attica (Grécko), kde si požiare v oblasti západne a severne od Atén vyžiadali v priebehu niekoľkých hodín 99 ľudských životov a rozsiahle materiálne škody. Rekordná (z hľadiska zasiahnutej plochy) bola sezóna lesných požiarov v Kalifornii (USA) a Britskej Kolumbii (Kanada).

Cirkulačné podmienky na Slovensku v priebehu roka 2018

V priebehu prevažnej časti roka 2018 bola cirkulácia vzduchu v atmosfére v širšom priestore Európy prevažne meridiálna (najmä v západnej a strednej Európe prevažovali severo-južné, prípadne juhozápadno-severovýchodné smery prúdenia). Zonálny prenos vzduchových hmôt od západu smerom na východ sa vyskytol iba v krátkych obdobiach, inak bol zväčša blokovaný výrazným výbežkom vyššieho tlaku vzduchu, ktorý sa rozširoval nad západnú a strednú Európu od juhu. Dôsledkom, okrem teplotných výkyvov a v teplom polroku aj dlhých vln horúčav (viedli k tomu, že teplý polrok 2018 bol v Európe najteplejší za posledných aspoň 40 rokov), bolo veľmi neštandardné rozloženie atmosférických zrážok a ich značný deficit v prevažnej časti západnej, strednej a severnej Európy. Deficit a nedostatok atmosférických zrážok sa v priebehu teplého polroka postupne prehľboval a viedol k dlhotrvajúcemu suchu, ktoré (podľa údajov European Drought Monitor - EDO) vrcholilo na Britských ostrovoch a v Škandinávii v auguste, a v západnej Európe v období septembra až novembra.

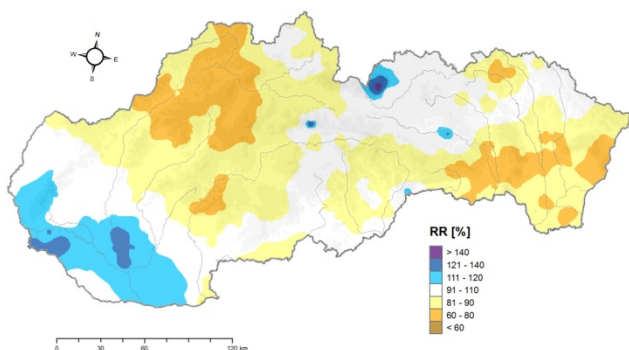
Teplotné a zrážkové pomery na Slovensku v roku 2018

Keďže zima 2017/2018 bola zrážkovo nevýrazná a v januári 2018 bolo navyše aj mimoriadne teplo, tak v jej priebehu vzniklo len málo príležitostí na kumuláciu trvalej snehovej pokrývky, čo sa napríklad prejavilo aj tým, že najvyššie hodnoty snehovej pokrývky v stredných horských polohách dosiahli počas zimy len okolo 50 až 70 cm. V nížinách a v nižšie položených kotlinách bola v druhej polovici februára 2018 vrstva snehu väčšinou veľmi tenká. Aj z tohto dôvodu po výraznom oteplení v apríli 2018 začali sa objavovať prvé známky sucha. Jeho prejavy a zhoršujúce sa dopady v niektorých regiónoch Slovenska v ďalšom priebehu teplého polroka podporovali, okrem len sporadického výskytu plošne výdatnejších zrážok, aj teplotne mimoriadne nadnormálne podmienky, ktoré pretrvávali v podstate od prvej aprílovej dekády (s krátkymi prerušeniami) až do polovice novembra 2018. S výnimkou februára, marca a decembra 2018 boli všetky hodnotené mesiace teplotne nadnormálne (to isté platí aj o sezónach), pričom v niektorých prípadoch boli mimoriadne až extrémne teplé (január, apríl, máj, august 2018).

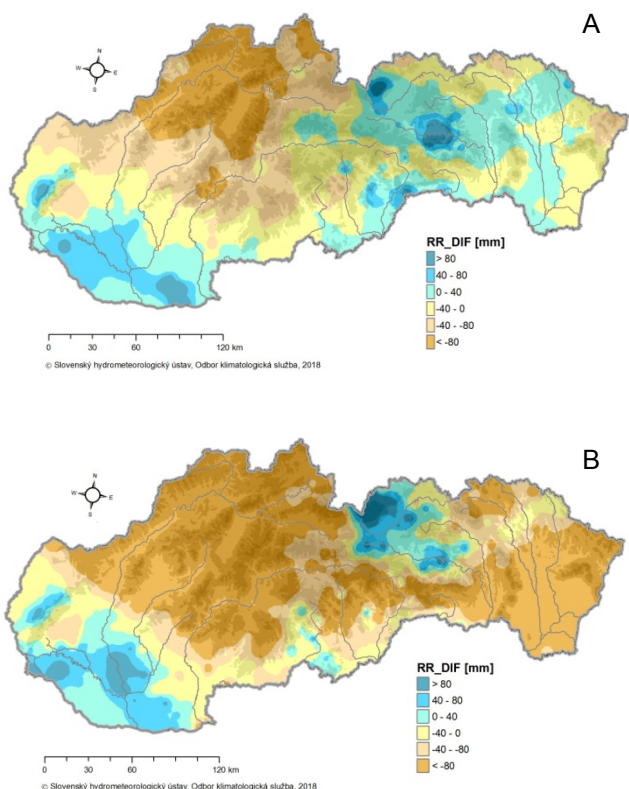
Podobne ako v prevažnej časti západnej, strednej a severnej Európy, veľmi špecifický typ atmosférickej cirkulácie mal za následok veľmi neštandardnú priestorovú

distribúciu atmosférických zrážok v priebehu roka 2018. Až na niekoľko výnimiek mali zrážky počas väčšiny jari a v lete pôvod v búrkových (konvektívnych) lejakoch. Toto spôsobilo, že v bilancii zrážok vznikli veľké regionálne rozdiely. Na väčšine územia Slovenska boli ročné úhrny zrážok pod dlhodobým priemerom, výnimkou boli len regióny na juhozápade Slovenska a v oblasti Vysokých Tatier a Zamaguria (Obr. 2). Výpadok prenosu vlhkých vzduchových hmôt od západu na východ spôsobil, že relatívne najvyšší deficit zrážok sa vytvoril na severe Záhoria, na strednom Považí, na krajnom severozápade Slovenska, a aj na väčšine východného Slovenska (Obr. 3).

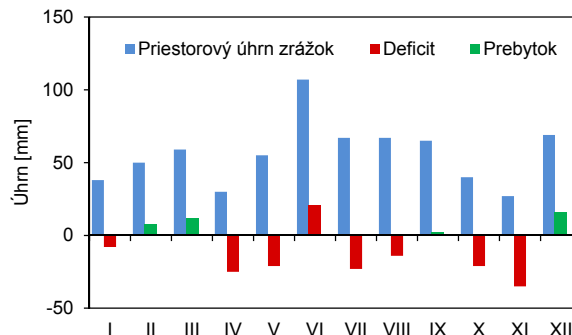
Obrázok 2. Ročný úhrn atmosférických zrážok na Slovensku za rok 2018 v % normálu 1961–1990 (Zdroj: SHMÚ).



Obrázok 3. Kumulatívne množstvo atmosférických zrážok vyjadrené prebytkom (+)/deficitom (-) zrážok za mesiace január až jún (A), resp. január až november 2018 (B) v porovnaní s normálom 1961–1990 (Zdroj: SHMÚ).



Obrázok 4. Kumulatívne množstvo atmosférických zrážok vyjadrené prebytkom (+)/deficitom (-) zrážok pre jednotlivé mesiace roku 2018 počítané na základe izohyetovej metódy (Zdroj: SHMÚ).



Pozoruhodné je aj to, že z pohľadu celkovej bilancie sa deficit atmosférických zrážok v priebehu jesene 2018, ktorá skončila ako veľmi teplá, v niektorých regiónoch Slovenska (najmä na východnom, strednom a severozápadnom Slovensku) v porovnaní s letom ešte viac prehĺbil. Pri analýze priestorových úhrnov (využitím izohyetovej metódy, Obr. 4) sa ukázalo, že priestorový úhrn zrážok počas jesene 2018 pre celé územie SR bol šiesty najnižší od roku 1984 a približoval sa k hodnotám, ktoré boli dosiahnuté v druhej polovici 80. rokov 20. storočia, kedy boli napríklad problémy so zásobovaním Košíc vodou. Súčasne tento stav teraz nastal po jeseni v roku 2017, ktorá mala pri uvedenej metóde na území Slovenska druhý najvyšší úhrn zrážok po jeseni 1998. Všeobecne platí, že aj roky 2015 a 2016 mali počas jesene nadnormálne množstvo zrážok.

Meteorologické a pôdne sucha v roku 2018

Už v januári boli veľmi až extrémne suché podmienky na Spiši a Šariši. Na konci januára bolo veľmi sucha na stanici Podolíne, a v Prešove bolo krátkodobu dokonca až extrémne sucha. Vo februári a v marci sa podmienky meteorologického sucha zmiernili. Opätovné zhoršenie však nastalo už v apríli, kedy najmä na západe a severozápade bolo až veľmi sucha. Výrazné zhoršenie meteorologického sucha sme zaznamenali taktiež v prvej polovici mája. K 6. máju 2018 bolo extrémne sucha na približne polovici územia Slovenska. V druhej polovici mája sa situácia zlepšila. V priebehu leta bolo krátkodobu, len na niektorých staniciach, veľmi sucha. Počas leta sa vyskytli regionálne rozdiely spôsobené územne nerovnomerne rozloženými zrážkami, ktoré boli hlavne v podobe búrok a prehánok. Zhoršovanie situácie nastalo v druhej polovici augusta.

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

Podľa vlhkostného indexu CMI bolo najsuchšie v lete v Jaslovských Bohuniciach a v Orechovej. Na oboch staniciach bola hodnota CMI nižšia ako -3 , čo predstavuje už závažné suchu. Hranicu takmer -3 dosiahol tento index aj v Michalovciach a v Žiari nad Hronom.

Z hľadiska pôdneho sucha bola situácia ešte do polovice apríla celkom priaznivá. V druhej polovici apríla sa suchu začalo rozširovať najskôr na severozápade, a neskôr aj na východe Slovenska. Na začiatku mája bolo extrémne suchu na 16 % územia, pričom najhorší stav bol v Žilinskom, Prešovskom a aj Trenčianskom kraji. V druhej polovici mája sa situácia čiastočne zlepšila. Extrémne suchu sa opäť rozšírilo v prvej júrovej dekáde, a to najmä na východnom a severozápadnom Slovensku. K 10. júnu extrémne suchu zasahovalo 7,5 % územia. V júli a v auguste pôdne suchu nebolo až tak rozšírené. Zhoršenie nastalo v priebehu septembra, kedy bolo extrémne suchu najmä na krajnom východe Slovenska. Deficit pôdnej vlhky na krajnom východe dosiahol hodnotu až -100 mm. Relatívne nasýtenie bolo najnižšie počas tohtoročnej sezóny 5. a 19. augusta, kedy na ploche 1,2 % SR bolo nasýtenie nižšie ako 10 %. Bod zníženej dostupnosti (relatívne nasýtenie pod 50 %) bolo v tomto období na približne 2/3 celkovej plochy.

Na základe informácií od odborníkov z praxe, ktoré zbierame a zverejňujeme prostredníctvom portálu inter-sucho.sk, bola odhadovaná strata výnosu až 30 % a viac vo viacerých okresoch na Slovensku. Najvyššia odhadovaná strata výnosov bola v okresoch Rimavská Sobota, Michalovce, Košice - okolie a Nové Mesto nad Váhom. Uvedené dopady boli hlásené z vybraných katastrof, preto neodrážajú stav v celom okrese. Vplyv na plodiny mali výrazné lokálne rozdiely vznikajúce aj v dôsledku výskytu búrok.

Klimatický extrém roka - mimoriadne viacdenné úhrny zrážok v septembri 2018

V priebehu prvých septembrových dní (v období od 1. do 4. septembra) sme predovšetkým na západnom Slovensku, a neskôr aj v regióne Abova a Gemera, zaznamenali mimoriadne vysoké denné a viac-denné (2- a 5-denné) úhrny atmosférických zrážok. Mimoriadnosť tejto situácie potvrdzuje aj skutočnosť, že na veľkom počte staníc boli prekonané historicky najvyššie denné, predovšetkým však 2- a 5-denné sumy úhrnov atmosférických zrážok pre mesiac september alebo dokonca obdobie celého kalendárneho roka.

Intenzívna zrážková činnosť bola spôsobená pomaly sa pohybujúcim zvlhčeným studeným frontom a neskôr aj pomerne perzistentnou výškovou tlakovou nížou, ktorá sa len veľmi pomaly presúvala z oblasti severného Talianska na východ a svojim južným okrajom ovplyvňovala počasie na západnom (1.–2. septembra), neskôr aj na strednom a východnom Slovensku (3.–5. septembra). V priebehu soboty, 1. 9. 2018, atmosférické zrážky vypadávali prevažne v západnej polovici Slovenska. Väčšinou tu napršalo od 15 do 40 mm, v Bratislavskom a Trnavskom kraji miestami aj viac ako 50 mm (napríklad na stanici Malý Javorník 83,6 mm, Pernek 80,2 mm alebo v Bratislave, na Kolibe, 72,2 mm). O deň neskôr v nedeľu, 2. 9. 2018, kompaktné zrážkové pásmo zasiahlo vo večerných a nočných hodinách západné Slovensko. V priebehu dňa sa však izolované a pomerne intenzívne búrky tvorili aj na strednom Sloven-

sku, predovšetkým na Kysuciach a Orave. Najvýdatnejšie pásmo zrážok zasiahlo najmä regióny Nových Zámkov, Trnavy, Serede a Hlohovca, kde spadlo väčšinou od 50 do 70 mm. V priebehu pondelka, 3. 9. 2018, sa zrážkové pásmo presunulo ďalej na východ, v rámci ktorého sme najmä popoludní a večer zaznamenali intenzívne búrky v oblasti Abova a Gemera a taktiež v oblasti Tatier, Nízkych Tatier a Oravy. Na meteorologickej stanici Buzica spadlo v pondelok až 87,0 mm a v Liptovskej Tepličke 80,2 mm. Intenzita 15-minútového dažďa mohla v uvedených oblastiach dosiahnuť aj viac ako 25 mm/15-min (takto intenzívny dažď sa v oblasti Liptovskej Tepličky vyskytuje s priemernou pravdepodobnosťou raz za 10, v oblasti Abova raz 20 až 30 rokov).

Sumárne spadlo za obdobie 31. 8. – 4. 9. 2018 na mnohých miestach západného Slovenska (najmä v regióne Malých a Bielych Karpát, na strednom Považí a na Záhorí) viac ako 100 mm zrážok. Na meteorologických staniciach v Jaslovských Bohuniciach, resp. v Smoleniciach to bolo dokonca až 160, resp. 161 mm, čo je množstvo ekvivalentné štvor-, resp. trojnásobku priemerného mesačného úhrnu zrážok v septembri. V prípade oboch staníc ide súčasne o vôbec najvyššiu 5-dennú sumu zrážok za rok aspoň od roku 1951, čo je v prípade septembra veľmi pozoruhodné. Tento vývoj pravdepodobne má bezprostredný súvis s častejším výskytom teplotne nadnormálnych letných sezón (najmä od začiatku 90. rokov 20. storočia) a významnými zmenami charakteru počasia v druhej polovici augusta a v priebehu septembra, ktoré v podmienkach vyššej teploty vzduchu prinášajú v priemere vyššie úhrny a intenzívnejšie zrážky. Uvedený trend sa začína prejavovať aj v dlhodobom raste priestorových úhrnov atmosférických zrážok v septembri aspoň od roku 1951. V tejto súvislosti treba zdôrazniť aj to, že intenzívne zrážky z 1. a 2. septembra vypadávali pri nadnormálne vysokej dennej a nočnej teplote ($+2$ až $+5$ °C v porovnaní s normálom 1961–1990).

Keďže prevažná časť zrážok spadla v priebehu 1. a 2. septembra, zaujímavé výsledky prináša aj hodnotenie najvyšších dosiahnutých 2-denných súm zrážok. Na meteorologických staniciach v Siladiaciach a v Jaslovských Bohuniciach sme zaznamenali aj viac ako 120 mm/48 h (126,2 mm, resp. 123,9 mm), čím boli prekonané historicky najvyššie [ročné] 2-denné úhrny zrážok na týchto staniciach.

Literatúra

- [1] *NOAAGlobalTemp: 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 glo-*

bal 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.–Beljaars, 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.–Källberg, P.–Köhler, M.–Matricardi, M.–McNally, A.P.–Monge-Sanz, B.M.–Morcrette, 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] WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018. World Meteorological Organization, 2018: WMO-No. 1233, ISBN 978-92-63-11233-0.
- [6] IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

J. Pecho, L. Markovič, P. Faško, G. Ivaňáková, P. Kajaba, M. Turňa, O. Bochniček, SHMÚ, Bratislava

POVODNE V ROKU 2018

Rok 2018 patril z pohľadu teploty vzduchu k historicky najteplejším na viacerých miestach Slovenska, zrážkovo bol slabo podnormálny, na úrovni 88 % normálu. Deficity zrážok sa sústredili hlavne na koniec jari a začiatok leta, čo spôsobilo nízke prietoky aj po zvyšok roka. Krátkodobé vzostupy hladín boli spôsobované najmä búrkami v letnom období.

Rok 2018 sa z hľadiska počtu dní so stupňami povodňovej aktivity (PA) javí ako mierne podpriemerný s celkovým počtom 92 dní, pričom bol zaznamenaný hlavne nižší počet dní s 3. stupňami PA.

Z hľadiska významnosti boli pri jednotlivých povodňových epizódach zaznamenané zväčša menej ako 1 až 2-ročné prietoky. 5-ročný prietok bol zaznamenaný na jar

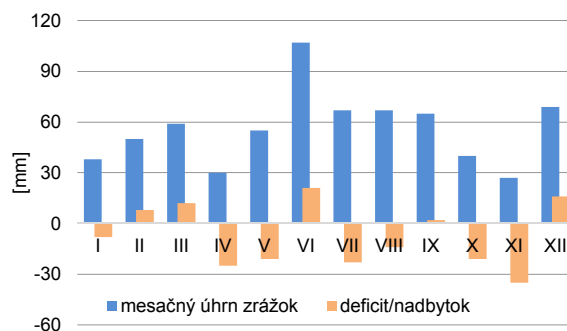
v profile Krásny Brod, 5 až 10-ročný prietok sa vyskytol na konci jari v Horných Orešanoch, v lete v Podbanskom a na jeseň v Oravskej Polhore.

Najextrémnejšia situácia bola zaznamenaná na Studenom potoku 19.7., kde bol expertmi vyhodnotený 20 až 50-ročný prietok v lokalite hornej časti obce Stará Lesná.

Zrážkové pomery na Slovensku v roku 2018

V kalendárnom roku 2018 sme na Slovensku zaznamenali v celoročnom úhrne 674 mm zrážok, čo je mierne podpriemerný úhrn, ktorý znamená 88 % dlhodobého ročného normálu a predstavuje deficit zrážok –88 mm (Tab. 1 a Obr. 1).

Obrázok 1. Úhrny zrážok na Slovensku v jednotlivých mesiacoch roka 2018 (zdroj: Odbor Klimatologická služba, SHMÚ).



Za obdobie rokov 1990 až 2018 bol deficit zrážok –88 mm tretím najvyšším deficitom, po rokoch 2003 a 2011.

Z celoslovenského hľadiska bolo zrážkovo deficitných až 7 mesiacov v roku, a to mesiace január, apríl, máj, júl, august, október a november. Najväčší deficit bol dosiahnutý v novembri, a to –35 mm. V tomto mesiaci spadlo celkovo na Slovensku iba 27 mm zrážok, čo predstavovalo iba 44 % dlhodobého novembrového normálu, a to sa odzrkadlilo aj na extrémne nízkych prietokoch na slovenských tokoch.

Zrážkovo najbohatší mesiac roku 2018 na celom Slovensku bol jún so 107 mm zrážok, nadbytkom 21 mm a so 124 % dlhodobého mesačného normálu. Zrážky však pochádzali najmä z búrok, čo sa odzrkadlilo na povodňových situáciách lokálneho charakteru.

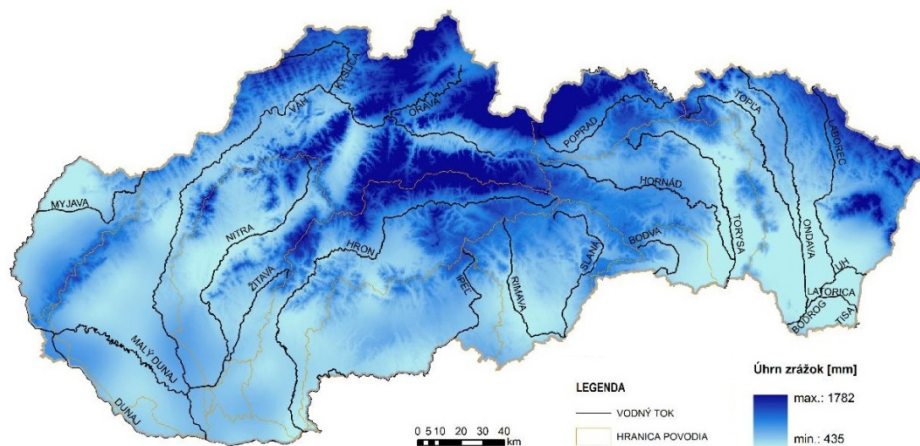
Väčšina zrážok v letnom a jesennom období spadla vo forme búrok s nerovnomerným plošným rozdelením.

Tabuľka 1.
Atmosférické zrážky
v roku 2018.

Poznámka:
% – percento z dlhodobého mesačného normálu (1961 – 1990),
Δ – výška nadbytku (+) alebo deficitu (-) zrážok v litroch na meter štvorcový vo vzťahu k normálu (1961 – 1990).

Región		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Západoslovenský región	mm	35	35	47	21	51	83	55	50	94	16	29	69	585
	%	83	92	109	44	76	122	75	79	177	29	49	130	88
	Δ	-7	-3	4	-27	-16	15	-18	-13	41	-39	-30	15	-77
Stredoslovenský región	mm	53	51	64	28	62	103	75	79	65	59	24	85	748
	%	98	102	119	44	72	104	74	86	90	87	34	137	86
	Δ	-1	1	10	-35	-24	4	-26	-13	-7	-9	-47	23	-124
Východoslovenský región	mm	24	63	64	39	52	133	71	71	39	40	29	51	676
	%	59	166	152	72	69	148	73	82	62	68	51	113	90
	Δ	-17	25	22	-15	-23	43	-26	-16	-24	-19	-28	6	-71
Slovensko	mm	38	50	59	30	55	107	67	67	65	40	27	69	674
	%	83	119	126	55	72	124	74	58	103	66	44	130	88
	Δ	-8	8	12	-25	-21	21	-23	-14	2	-21	-35	16	-88

Obrázok 2.
Úhrn atmosférických
zrážok [mm] na Slovensku
v roku 2018 (zdroj: Odbor
Klimatologická služba,
SHMÚ).



Významné povodňové udalosti na Slovensku v roku 2018

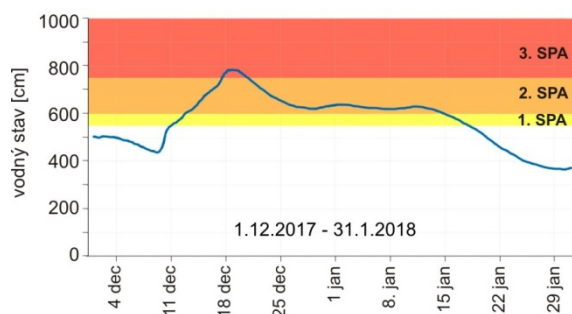
Na začiatku roka 2018 doznievala ešte povodňová situácia z druhej polovice decembra 2017. V dôsledku oteplenia spojeného s tekutými zrážkami a s topením sa snehovej pokrývky, v druhej decembrovej dekáde na viacerých tokoch východného Slovenska došlo k vzostupom vodných hladín a následne v povodí Hornádu a Bodrogu aj k vzniku povodňových situácií. Hodnoty kulminačného prietoku na Uhu a Latorici dosiahli maximálny prietok s pravdepodobnosťou výskytu raz za 5 až 10 rokov. Výrazné poklesy v dolnej časti povodia Bodrogu nastali až v polovici januára po ochladení pod bod mrazu. Od decembra 2017 do februára 2018 sa v povodí Bodrogu vyskytlo celkovo 53 dní s povodňovou aktivitou. Povodňová situácia v povodí Bodrogu vo februári bola spôsobená topením snehových zásob, ľadovými úkazmi, ale aj tekutými a zmiešanými zrážkami ako na našej, tak aj ukrajinskej časti povodia. Vo vodomerných staniách Michalany na toku Roňava bolo počas jedného dňa (3. 2.) pozorované prekročenie tretieho stupňa PA v dvoch povodňových vlnách. Kulminačný prietok v tejto stanici dosiahol pravdepodobnosť výskytu maximálne raz za jeden rok. Počas povodňových situácií vo februári boli na tokoch v povodí Bodrogu pozorované kulminačné prietoky, ktorých hodnoty boli menšie ako hodnota prietoku vyskytujúceho sa raz za rok.

Posledné marcové dni a prvé dni v apríli priniesli výdatné a trvalé zrážky vo forme dažďa, ktoré spôsobili vzostupy vodných hladín na viacerých tokoch východného Slovenska a následne vznik povodňových situácií v povodí

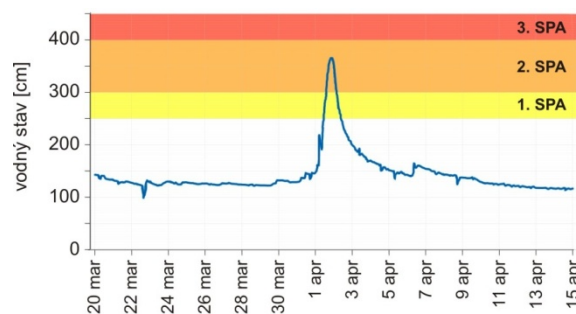
Hornádu a Bodrogu. V nasledujúcich dňoch pretrvávali zvýšené vodné stavy aj v dôsledku kladných teplôt vzduchu a topenia sa snehovej pokrývky u nás a na ukrajinskej časti povodia. Počas povodňovej situácie v apríli 2018 sme v povodí Hornádu zaznamenali 13 dní a v povodí Bodrogu 17 dní s povodňovou aktivitou. V povodí Hornádu boli v 10 vodomerných staniách prekročené vodné stavy zodpovedajúce stupňom PA, v povodí Bodrogu v 21 staniách. Výšky vodných hladín, ktoré prekročili úrovne zodpovedajúce tretiemu stupňu PA v povodí Hornádu boli zaznamenané v dvoch vodomerných staniách (Bohdanovce na Olšave, Košické Olšany na Toryse), v povodí Bodrogu taktiež v dvoch vodomerných staniách (Stropkov na Ondave, Michalany na Roňave). V hodnotenom období najvyššie kulminačné prietoky boli na úrovni prietokov s pravdepodobnosťou výskytu maximálne raz za 2 až 5 rokov na tokoch Laborec, Okna, Cirocha, Radomka, Udava a Chlmec.

Na malokarpatských tokoch v povodí dolného Váhu sme počas roka 2018 zaznamenali vzostupy vodných hladín s dosiahnutím prvých až druhých stupňov PA v júni, na začiatku septembra a v decembri. V prvej júnovej dekáde sme v oblasti Malých Karpát zaznamenali výskyt intenzívnej búrkovej činnosti, pričom podľa odhadov z radarov spadlo 6. 6. v tejto oblasti k 16:40 hod. asi 80 až 95 mm, lokálne 95 až 110 mm zrážok za hodinu. V dôsledku týchto prívalových zrážok došlo k vzostupom až výrazným vzostupom hladín na malokarpatských tokoch. Úroveň tretieho stupňa PA bola dosiahnutá a prekročená len na toku Parná v Horných Orešanoch. Zaznamenaný kulminačný prietok dosiahol hodnotu zodpovedajúcu 10-ročnému maximálnemu prietoku.

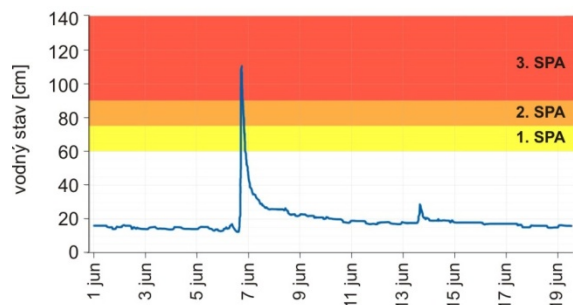
Obrázok 3. Pribeh vodných hladín Veľké Kapušany - Latorica.



Obrázok 4. Humenné - Laborec, povodeň z topiaceho sa snehu.

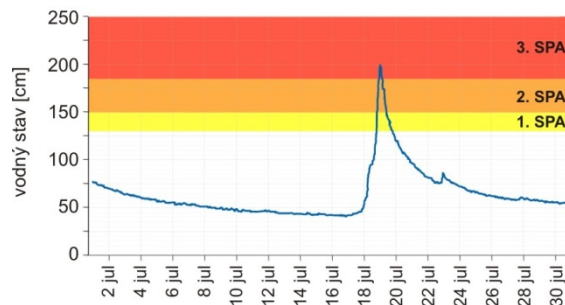


Obrázok 5. Horné Orešany - Parná, prítalová povodeň.



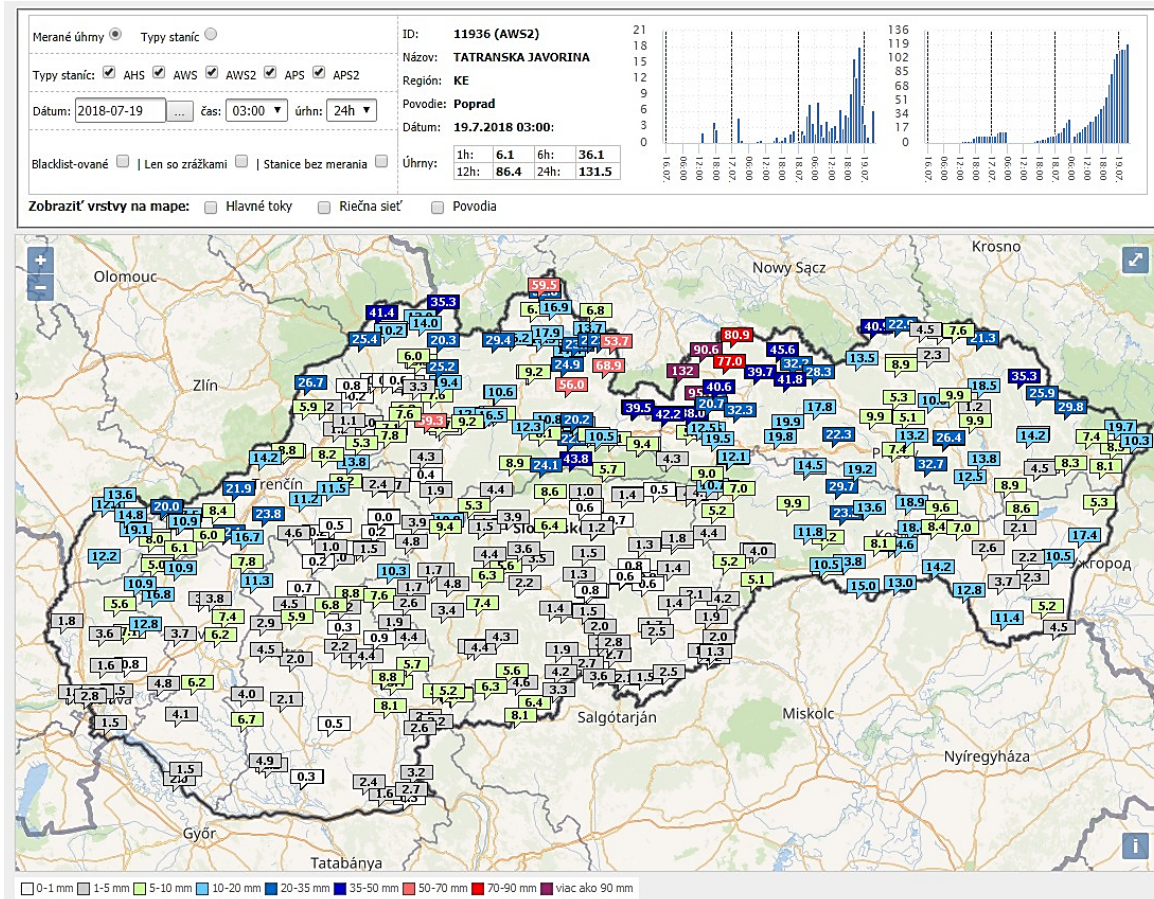
Najvýznamnejšia povodňová situácia na tokoch v povodí horného Váhu v júli 2018 bola spôsobená výdatnými zrážkami z trvalého dažďa. Zrážky, ktoré povodňovú situáciu spôsobili, sa vyskytli v dňoch 17. 7. 2018 a 20. – 21. 7. 2018. Tieto povodňové situácie nemôžeme hodnotiť ako extrémne výnimočné priestorovým rozsahom ani výškami kulminácie vodných hladín. Vodné hladiny, ktoré zodpovedajú stupňom PA, boli prekročené na 11 zo 67 vodomerných staníc. Najvýznamnejšie výšky vodných hladín, ktoré prekročili úroveň zodpovedajúcu tretím stupňom PA, boli zaznamenané na Belej vo vodomerných staniách Podbanské a Liptovský Hrádok. Operatívne vyhodnotený kulminálny prietok v Podbanskom mal priemernú dobu opakovania raz za 10 rokov. Podobnú významnosť (raz za 5–10 rokov) dosiahla kulminácia v Trstenej na Oravici a Oravskom Bielom Potoku na Studenom potoku. V ostatných prípadoch išlo o menej významné kulminácie.

Obrázok 6. Podbanské - Belá, povodeň z trvalého dažďa.



Na konci druhej dekády mesiaca júl sa aj v povodí Popradu a Dunajca vyskytli niekoľkodňové zrážky, miestami aj veľmi výdatné, vo forme trvalého dažďa. Zaznamenané výrazné úhrny zrážok v daných povodiach spôsobili na tokoch vzostupy vodných hladín s dosiahnutím a prekročením stupňov PA. Počas tejto povodňovej situácie bolo v povodí Popradu a Dunajca zaznamenaných šesť dní s povodňovou aktivitou. Stupne PA boli prekročené v ôsmich vodomerných staniách. Z toho v dvoch staniách výšky vodných hladín prekročili druhý stupeň PA (Nižné Ružbachy na Poprade, Červený Kláštor na Dunajci). V hodnotenom období sa najvyšší kulminálny prietok vyskytol vo vodomernej stanici Stará Lesná na Studenom potoku, na úrovni prietoku s pravdepodobnosťou výskytu maximálne raz za 20 až 50 rokov.

Obrázok 7. 24-hodinový úhrn zrážok 19. 7. 2018 k 3:00.



Obrázok 8. Rozvodnený potok Javorinka berie so sebou starší dom v Podspádoch (zdroj: TASR).



Obrázok 9. Rozvodnené Studenovodské vodopády v stredu 18. 7. 2018 popoludní (zdroj: FB - Ján Blaško).



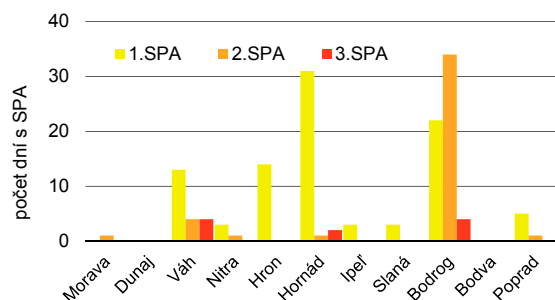
Štatistický prehľad výskytu stupňov povodňovej aktivity počas roka 2018

Pri hodnotení počtu dní s dosiahnutým stupňom PA sa v rámci roka berú do úvahy všetky stupne PA dosiahnuté v priebehu roka vo všetkých operatívnych vodomerných staniách (VS), v ktorých sú stanovené stupne PA. Ak sú v priebehu jedného dňa v stanici dosiahnuté rôzne stupne PA, do hodnotenia sa berie najvyšší dosiahnutý stupeň.

V rámci sledovaného obdobia (od roku 2007) bolo v roku 2018 zaznamenaných 92 dní s PA. V porovnaní s predchádzajúcimi dvomi rokmi bol zaznamenaný zanedbateľný pokles počtu dní s povodňovou aktivitou. V porovnaní s priemerným počtom dní za sledované obdobie, ktorý je 109 dní, je rok 2018 podpriemerný.

Počty dní s dosiahnutým 1., 2. a 3. stupňom PA sú hodnotené v rámci povodí (Tab. 2 a Obr. 10), v rámci regionálnych pracovísk SHMÚ (Tab. 3) a v rámci celej SR (Tab. 4).

Obrázok 10. Počet dní s 1., 2. a 3. stupňom PA v jednotlivých povodiach SR v roku 2018.



V roku 2018 bolo najviac dní s dosiahnutým 1. stupňom PA zaznamenaných v povodí Hornádu (31), nasledovalo povodie Bodrogu (22) a povodie Hrona (14). Najväčší počet dní s 2. stupňom PA bol zaznamenaný v povodí Bodrogu (34) a v povodí Váhu (4). Najviac dní s dosiahnutým 3. stupňom PA bolo zaznamenaných v povodí Bodrogu (4) a v povodí Váhu (4), potom už len v povodí Hornádu (2).

Tabuľka 2. Počet dní s 1., 2. a 3. stupňom PA v jednotlivých povodiach SR v roku 2018.

SPA	Povodie										
	Morava	Dunaj	Váh	Nitra	Hron	Hornád	Ipeľ	Slaná	Bodrog	Bodva	Poprad
1. SPA	0	0	13	3	14	31	3	3	22	0	5
2. SPA	1	0	4	1	0	1	0	0	34	0	1
3. SPA	0	0	4	0	0	2	0	0	4	0	0

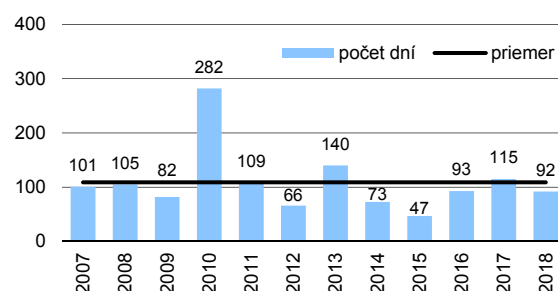
Tabuľka 3. Počet dní s 1., 2. a 3. stupňom PA podľa regionálnych pracovísk SHMÚ v jednotlivých mesiacoch roku 2018 pre všetky operatívne vodomerné stanice.

	RP Bratislava			RP Žilina			RP B. Bystrica			RP Košice		
	1.SPA	2.SPA	3.SPA	1.SPA	2.SPA	3.SPA	1.SPA	2.SPA	3.SPA	1.SPA	2.SPA	3.SPA
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	14	0
II	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	2
III	0	0	0	2	0	0	1	0	0	17	0	0
IV	0	0	0	2	0	0	14	0	0	3	12	2
V	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
VI	0	0	1	1	1	0	2	0	0	7	0	0
VII	0	0	0	3	1	2	0	0	0	6	1	0
VIII	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IX	2	0	0	2	1	1	0	0	0	3	0	0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XII	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
spolu	5	1	1	11	4	3	17	0	0	44	35	4

Tabuľka 4. Počet dní s 1., 2. a 3. stupňom PA v jednotlivých mesiacoch roku 2018 v operatívnych vodomerných staniách SR.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	spolu
1. SPA	4	5	17	3	1	7	4	1	2	0	0	1	45
2. SPA	14	7	0	12	2	1	1	1	1	0	0	0	39
3. SPA	0	2	0	2	0	1	2	0	1	0	0	0	8

Obrázok 11. Počet dní s dosiahnutým 1. až 3. stupňom PA na slovenských tokoch vo všetkých operatívnych vodomerných staniách so stanovenými stupňami PA v období 2007 – 2018.



Tabuľka 5.
Počet dní s 1., 2.
a 3. stupňom PA
vo všetkých operatívnych
vodomerných staniciach
so stanovenými stupňami
PA v rokoch 2007–2018.

Rok	Počet dni s 1., 2. a 3. SPA															Počet dni v roku s 1. až 3. SPA
	1. SPA					2. SPA					3. SPA					
	spolu v regiónoch	RP Bratislava	RP Žilina	RP Banská Bystrica	RP Košice	spolu v regiónoch	RP Bratislava	RP Žilina	RP Banská Bystrica	RP Košice	spolu v regiónoch	RP Bratislava	RP Žilina	RP Banská Bystrica	RP Košice	
2007	96	14	10	4	52	30	3	2	0	7	6	0	0	0	3	101
2008	101	28	18	7	81	20	4	6	1	17	8	1	2	0	7	105
2009	93	62	34	20	53	50	37	5	8	23	23	20	1	6	7	82
2010	271	151	120	104	222	130	86	32	58	90	84	44	17	30	60	282
2011	101	51	15	15	78	24	15	5	4	8	13	8	1	3	5	109
2012	65	19	29	2	34	5	0	3	0	2	3	0	3	0	0	66
2013	139	64	42	67	106	58	22	2	18	33	24	14	0	7	3	140
2014	70	23	29	20	51	24	6	7	7	14	12	2	2	3	7	73
2015	47	15	20	9	25	6	2	2	0	3	5	0	1	1	3	47
2016	89	30	37	19	61	34	10	12	12	17	16	3	0	5	11	93
2017	87	17	40	10	58	67	4	11	5	54	18	0	4	2	14	115
2018	45	5	11	17	44	39	1	4	0	35	8	1	3	0	4	92

Záver

Napriek tomu, že rok 2018 mal z hydrologického hľadiska obdobia s nízkou až extrémne nízkou vodnosťou, vyskytlo sa niekoľko povodňových situácií s mimoriadnou významnosťou. Najextrémnejšia situácia bola zaznamenaná v júli 2018 vo Vysokých Tatrách v obci Stará Lesná, ktorá bola expertmi vyhodnotená ako 20 až 50-ročná voda. Povodeň bola spôsobená trojdňovým dažďom s vysokými dennými úhrmami zrážok. V júni sa vyskytli príválové povodne s 10–20 ročnou významnosťou v Horných Orešanoch a Oravskej Polhore. Ďalšie povodňové situácie mali už nižšiu významnosť. Z hľadiska dní s povodňovou aktivitou sa rok 2018 zaradil počtom 92 medzi mierne podpriemerné, avšak s nízkym počtom dosiahnutých 3. stupňov povodňovej aktivity.

Hydrologická situácia bola počas roku 2018 monitorovaná na Odbore Hydrologické predpovede a výstrahy SHMÚ. Široká verejnosť bola nepretržite informovaná o aktuálnych vodných stavoch vo vodomerných staniciach prostredníctvom internetovej stránky SHMÚ, na ktorej boli tiež vydávané aktualizované hydrologické výstrahy. Po dosiahnutí stanovených stupňov povodňových aktivít boli vydávané mimoriadne hydrologické spravodajstvá obsahujúce zhodnotenie a predpokladaný vývoj hydrometeorologickej situácie. Tieto spravodajstvá boli zasielané organizáciám zabezpečujúcim ochranu pred povodňami tak, ako určuje Zákon o ochrane pred povodňami –7/2010 Z. z.

Literatúra

Blahová, A.–Matoková, K.–Smrtník, P.–Masár, T.–Parditka, P.–Kyselová, D.–Hrušková, K.–Trstenský, T.–Zvolenský, M.–Liová, S.–Simonová, D.–Holubecká, M.–Mrázová, L.–Psotová, M.–Spišiaková, K., 2019, *Správa o povodniach za rok 2018*. SHMÚ Bratislava, február 2019, 148 s. <http://www.shmu.sk/sk/?page=128>.

D. Lešková, M. Mikuličková, SHMÚ, Bratislava
D. Simonová, SHMÚ, Košice

VETROM VYVOLANÉ NASÚVANIE ĽADU NA POBREŽIE VODNEJ NÁDRŽE ORAVA

Vetrom vyvolané nasúvanie ľadu na pobrežie nie je vo svete zriedkavý, ale dobre preskúmaný jav. Nasúvanie ľadu na Vodnej nádrži Orava bolo nami pozorované trikrát, a to v rokoch 2010, 2014 a 2019. Rekonštruovali sme podmienky, za ktorých sa tento jav vyskytol. Pochopiť a interpretovať tento jav nám pomohla meteorologická a klimatická databáza SHMÚ. Je potrebná interakcia a následnosť niekoľkých meteorologických faktorov. Sú to najmä veľké vodné plochy, niekoľko mrazivých dní, následné oteplenie, silný vietor s vhodným smerom a ploché pobrežie. Len niekoľko centimetrov hrubá ľadová vrstva môže vytvoriť niekoľko metrov vysoký a stovky metrov dlhý ľadový val. Nasúvajúci sa ľad škrabe a presúva sedimenty na pobreží. Naše pozorovania dokazujú, že tento jav sa môže vyskytnúť už na stredne veľkých vodných plochách, akou je aj Vodná nádrž Orava. Mal by sa brať do úvahy pri činnostiach týkajúcich sa brehov väčších vodných nádrží, ako je stavebníctvo, ochrana vôd a životné prostredie. Tento jav je možné predvídať na základe meteorologického pozorovania.

Ice creeping on shore driven by wind is not rare but well-known phenomenon in the world. Ice creeping was observed on the Orava dam three times in years 2010, 2014 and 2019. We reconstructed the conditions under which this event occurred. A meteorological and climatic database of SHMÚ helped to understand and interpret these phenomena. An interplay and succession of several meteorological factors is necessary. They are especially large water surface, freezing temperatures, soft weather, strong winds with an appropriate direction and flat coast. Just a few centimetres thick ice layer can form several meters high and hundreds of meters long ice mounds. The creeping ice scratches and shifts the sediments along the coast. Our observations prove that this phenomenon can occur also on medium-sized water reservoirs such as Orava dam. It should be taken into account in activities related to shores of larger water reservoirs, such as civil engineering, water protection and environment. It is possible to predict this event on the basis of meteorological observation.

Úvod

Nasúvanie ľadu na pobrežie spôsobené vetrom nie je vo svete zriedkavý, ale pomerne dobre preskúmaný jav. Vyskytuje sa najmä pri väčších vodných plochách chladnejších oblastí. Bežne sa tento jav vyskytuje napríklad v oblasti Baltského mora, kanadských jazier a Aljašky (IZ2). Bol zaznamenaný aj na Balatone (IZ2).

Intenzívny výskum javu prebiehal najmä v oblasti Pobaltia a Severnej Ameriky už od 50-tych rokov minulého storočia. Z množstva prác publikovaných v období počiatkov výskumu môžeme vybrať aspoň práce Keyserlinga (1863) a Tsanga (1974). V staršom období ešte nebola k dispozícii na sledovanie stavu ľadu moderná technika. Problematike sa intenzívne venovali Kovacs a Sodhi, (napr. 1980, 1981–1982). Sodhi et al. (1983) sa pokúsili tento jav modelovať a vysvetliť experimentálne. Fyzikálno-matematický pohľad na proces upravil napr. Christensen (1994).

Značná pozornosť ľadovým úkazom je v poslednej dobe venovaná v oblasti Baltského mora. Najmä z dôvodu intenzívnej lodnej dopravy sú ľadové kryhy monitorované napr. letecky alebo radarom (Björk et al., 2008). Vyhodnocovaný je ich pohyb, hrúbka, narastanie, topenie, pevnosť a prípadné ohrozenie pobrežia (Leppäranta, 2013). Len z Poľska, pobrežia Baltského mora, je z rokov 1955 až 2011 známych 51 prípadov nasúvania ľadu na pobrežie (Girjatowicz, 2014). Miesta najčastejšieho výskytu tohto javu na poľskom pobreží zmapoval Girjatowicz (2015) a považuje ho za zaujímavú turistickú atrakciu, s možnosťou pozorovať a skúmať procesy a tvary zamrznutých vodných plôch.

Hlavnou motiváciou výskumu ľadových úkazov bola intenzívna zimná lodná doprava. Ľad, najmä driftujúci, spôsobuje veľké problémy lodiam, mólom a majákom. V posledných rokoch vznikli nové otázky týkajúce sa environmentálnych a ekologických vplyvov tvorby ľadu. Environmentálnym problémom je interakcia medzi ľadom a pobrežím. Následkom je erózia brehov a morského dna (ľadová erózia) (Leppäranta, 2013). Deštruktívny rozsah vplyvu nasúvaného ľadu na pobrežie dokumentoval napríklad Orvik et al. (2011).

K vzniku nezvyčajného, napriek tomu dobre známeho fenoménu, prispievajú nasledovné podmienky:

Čiastočné rozmrazovanie: Na väčších jazerách a oceánoch je ohrozenie ľadom obmedzené na obdobie, keď sa ľad začal topiť, ale ešte celkom nezmizol. V chladných oblastiach je spájaný s predzvesťou jari. Oteplenie vedie k zníženiu pevnosti a stability ľadu (Mahoney et al., 2004). Ľad musí byť voľný, tak aby ho mohol unášať vietor. Akákoľvek forma voľne plávajúceho ľadu môže vyústiť v jeho nasunutie na pobrežie (Gilbert, 1991).

Silný vietor s vhodným smerom: Na vodnej ploche s voľne plávajúcim ľadom môžu dlhšie trvajúce silnejšie vetry tlačiť veľké platne, kryhy alebo ľadové triedy smerom k pobrežiu. Keď čelná hrana tohto ľadu dosiahne breh, odpor brehu ho môže spomaliť alebo zastaviť. Neprítomnosť odporu na vode však umožní vetru a kinetickej energii pohybujúceho sa ľadu pokračovať v jeho presúvaní smerom k pobrežiu. Vzhľadom k tomu, že sa ľad v čele nedokáže posunúť dopredu, hromadia sa na ňom ďalšie a ďalšie vrstvy. Pri dostatočne silnom vetre a hrubom ľade sa môžu na brehu za niekoľko minút nahromadiť až 12 metrov vy-

soké a niekoľko kilometrov dlhé ľadové valy. Ukazuje sa, že sila vetra nie je rozhodujúcim faktorom. Gilbert (1991) udáva pre vznik nasúvania ľadu priemernú hodinovú rýchlosť vetra 6 (14) m.s⁻¹, Gilbert a Glew (1986) 8 m.s⁻¹, Tsang (1974) 5 (7) m.s⁻¹ a Mahoney et al. (2004) iba 4 m.s⁻¹.

Nízky sklon brehu: Strmší breh kladie väčší odpor a ľahšie zastaví postup ľadu. Naopak, na ploché pobrežie dokáže ľad preniknúť až niekoľko 10 m. Alestalo a Häikiö (2013) opisujú situáciu z Botnického zálivu zo zimy 1972/73, keď sa ľad nasunul na pobrežie do vzdialenosti takmer 100 m. Keyserling(1863) zdokumentoval prípad keď bol 70 cm hrubý ľad vytlačený až 310 m na pobrežie a vytvoril 18 m vysoké ľadové valy.

Pozorovania nasvedčujú, že pre vznik tohto javu vyhovuje aj Vodná nádrž Orava (Obr. 1). Na mieste pozorovania ľadových úkazov má vodná plocha šírku len asi 3 km. Menšia vodná plocha s rozlohou 35 km² poskytuje iba obmedzené podmienky pre tvorbu a nasúvanie ľadu na pobrežie v porovnaní s jazerami či morami polárnej a subpolárnej klimatickej oblasti.

Obrázok 1. Lokalizácia troch lokalít (A, B a C) s najčastejším výskytom ľadového úkazu pri nízkom stave vodnej hladiny v roku 2014. Podobná lokalizácia ľadových úkazov bola aj v rokoch 2010 a 2019. Mapa zobrazuje meteorologické stanice v Liesku a Oravskej Lesnej, ktoré poskytli údaje o meraní teplôt a o sile vetra.



Hlavným zámerom tejto práce je priniesť výsledky pozorovania na Slovensku ojedinelého ľadového úkazu, v spojitosti s praktickým využitím voľne dostupnej databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) pre interpretáciu a predpovedanie jeho vzniku. Riešenie tejto otázky by pomohlo rozšíriť poznanie tohto fenoménu aj na menšie vodné plochy.

Materiál a metódy

Vodná nádrž Orava sa nachádza v severnej časti Slovenska v okresoch Námestovo a Tvrdošín, na okraji Oravskej kotliny a jej styku s Oravskou Magurou (Obr. 1). Jej plocha je 35 km². Má však výrazne pretiahnutý tvar, takže jej šírka len zriedka presahuje 3 km. Leží v mierne chladnej oblasti Slovenska a maximálna výška jej hladiny je cca 602 m n. m. Breh priehrady južne od Bobrova je prevažne piesčitý až štrkovitý s miernym sklonom. Za 60 rokov existencie vodnej nádrže vlnenie na mnohých miestach odstránilo pôdnu

vrstvu až po štrky riečnych terás, prípadne po piesčito-ílovité neogénne sedimenty podložia (Teťák et al., 2016). V bobrovskej zátokke prevláda bahňité pobrežie okrajovo aj s rašelinou. Časti pobrežia najviac postihnuté eróziou (napr. pri Námestove a Ústí nad priehradou) boli v minulosti sáňované a zabezpečené pred jej ďalšiemu postupu.

Prípad nasúvania ľadu na pobrežie spôsobené vetrom nebol doteraz z tejto oblasti opísaný. Prvé dva naše opísané prípady boli pozorované náhodne. Nasúvanie ľadu priamo pozoroval pán Eugen Šiška koncom zimy v roku 2010 pri výpomoci pri archeologickom výskume južne od Bobrova (Obr. 1). Druhý prípad som pozoroval v roku 2014 pri geologickom výskume pobrežia Vodnej nádrže Orava (Teťák et al., 2016). Evidoval som na prvý pohľad nevysvetliteľné kopy ľadu až ľadovej drte až 20 m vzdialené od okraja vodnej hladiny. Sledovaný úkaz sa vyskytoval v troch skupinách južne od Bobrova (Obr. 1 – lokalizácia A, B a C). Ďalšie pozorovania nasúvania ľadu na pobrežie boli už zámerné, s cieľom jeho výskumu.

Pre interpretáciu vzniku ľadového javu sa ukázali ako veľmi užitočné databázy meteorologických a klimatologických meraní profesionálnych meteorologických staníc SHMÚ v Liesku a Oravskej Lesnej, ktoré sú voľne prístupné (IZ1, Bochníček a Ondruška, 2010, 2014a,b, 2018, 2019a,b,c). Meteorologická stanica Liesek sa nachádza v Oravskej kotline v nadmorskej výške porovnateľnej so sledovanými lokalitami a len 7 až 11 km na JV od nich. Z archívu tejto stanice boli použité záznamy priemerných hodinových rýchlostí vetra a nárazov vetra (Bochníček a Ondruška, 2010, 2014a,b, 2018, 2019a,b,c). Vzhľadom na polohu stanice možno predpokladať, že tieto záznamy sa zhodujú so situáciou na lokalite. Zo záznamov meteorologickej stanice v Oravskej Lesnej boli použité grafy priemerných denných teplôt vzduchu (IZ1). Stanica leží 25 km na západ a o 200 výškových metrov vyššie od študovanej lokality. Preto treba brať do úvahy, že priemerná teplota lokality bola oproti údajom z grafov asi o 2 až 3 °C vyššia.

Pre určenie času udalostí, kľúčových pre vznik pozorovaného ľadového úkazu, vychádzame z niekoľkých predpokladov. V prípade priameho pozorovania presúvania ľadu je čas presúvania totožný s časom pozorovania úkazu a čas zamrznutia vodnej hladiny určíme z grafu priemerných denných teplôt ako obdobie niekoľkých dní kedy naposledy priemerná denná teplota výraznejšie klesla pod bod mrazu. V prípade, keď medzi časom presúvania ľadu a pozorovania ľadových úkazov uplynul dlhší čas, je interpretácia náročnejšia. Čas zamrznutia vodnej hladiny sa pravdepodobne zhoduje s obdobím kedy naposledy priemerná denná

teplota výraznejšie klesla pod bod mrazu a čas presúvania ľadu indikuje prvé nasledujúce obdobie oteplenia so silným vetrom vhodného smeru. Tu je však potrebné odhadnúť aký dlhý čas mohol uplynúť od času presúvania ľadu po čas pozorovania.

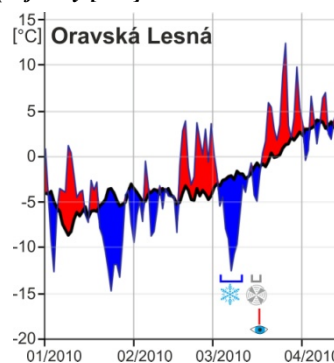
Podmienky a proces nasúvania ľadu na príkladoch z Vodnej nádrže Orava

V rokoch 2010 a 2014 boli náhodne pozorované a zdokumentované dva prípady nasúvania ľadu na pobrežie Vodnej nádrže Orava. Ďalšie pozorovania boli už zámerné, s cieľom jeho výskumu.

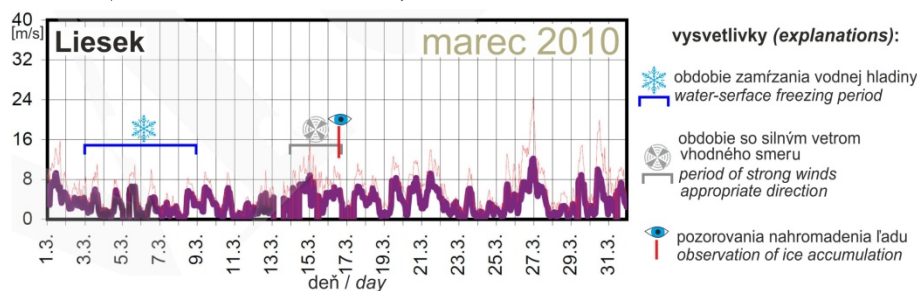
Situácia v roku 2010

Nasúvanie ľadu hnaného vetrom v roku 2010 zdokumentoval Eugen Šiška pri pomocných prácach na archeologickom výskume na brehu Vodnej nádrže Orava. Časový priebeh vzniku tohto javu v r. 2010 interpretujeme nasledovne. Začiatkom marca prišlo silné ochladenie (Obr. 2) a medzi 3. 3. až 9. 3. 2010 sa na hladine vytvorila vrstva ľadu hrubá do 10 cm. Tomuto ochladeniu predchádzalo teplé počasie, kedy na hladine vodnej nádrže ľadová vrstva nebola. Po mrazoch prišlo výrazné oteplenie, ktoré bolo v dňoch 14. 3. až 16. 3. 2010 sprevádzané juhozápadným vetrom so silou 9 m.s^{-1} (v nárazoch až 16 m.s^{-1}) (Obr. 3 - Bochníček a Ondruška, 2010). Dňa 16. 3. 2010 E. Šiška priamo pozoroval presúvanie sa ľadových dosiek na breh nádrže (Obr. 4A,B,C). Ľad bol hrubo kryštallický a prevažne sa rozpadával na menšie kryhy a kusy. Jav bol sprevádzaný hlasným zvukovým efektom narážania a praskania ľadových platní a kryštálov.

Obrázok 2. Priemerná denná teplota vzduchu na meteorologickej stanici Oravská Lesná v prvej tretine roka 2010. Výrazné je krátkodobé ochladenie od 14. 3. do 16. 3. v závere priemerne teplej zimy [IZ1].



Obrázok 3. Priemerná hodinová rýchlosť vetra (hrubá čiara) a nárazy vetra (tenká čiara) na meteorologickej stanici Liesek v období od 1. 3. do 1. 4. 2010 (Bochníček a Ondruška, 2010).



Obrázok 4. A,B: Dňa 16. 3. 2010 bolo pozorované v dôsledku silného vetra a oteplenia nasúvanie ľadu na breh Vodnej nádrže Orava; C: Detail kopy ľadu navršenej v roku 2010. Asi 6 cm hrubé vrstvy ľadu sú navršené nepravidelne; D: Topiace sa kopy ľadu na lokalite B v roku 2014. V pozadí je lokalita A; E: Kopy ľadu navršené na lokalite C hrnuli pred sebou piesok a štrk; F: Detail 1 m vysokej kopy ľadu navršenej na lokalite C. Viditeľné je šikmé paralelné uloženie asi 4 cm hrubých vrstiev ľadu (foto A,B,C- E. Šiška, D,E,F - F. Teťák).



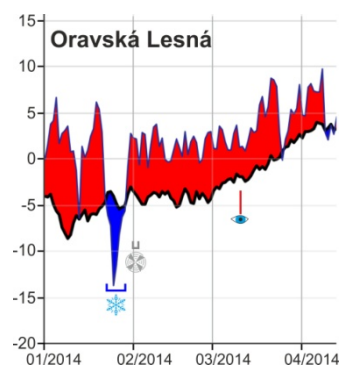
Situácia v roku 2014

Druhý prípad tohto javu bol pozorovaný v zime roku 2014. Zima 2013/2014 bola extrémne teplá a suchá (Obr. 5) (Bochniček a Ondruška, 2014a, b). Hladina Vodnej nádrže Orava bola nezvyčajne nízka a počas zimy z dôvodu nedostatku zrážok ďalej klesala. Opisované kopy ľadu boli v čase pozorovania 10.3.2014 asi 3 až 5 výškových metrov nad vodnou hladinou. Za celú zimnú sezónu sa nevytvorila hrubšia stála ľadová

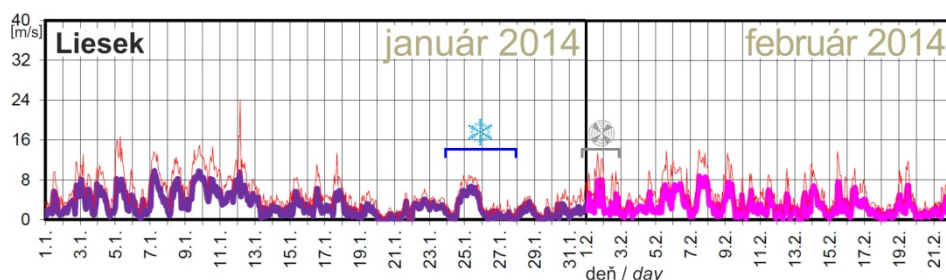
škrupina ako je to zvykom po iné roky. Počas jediného krátkeho silného ochladenia medzi 24. 1. až 27. 1. 2014 (Obr. 5 – IZ1) došlo k vytvoreniu ľadovej škrupiny v hrúbke asi 5 cm.

Podľa meteorologických záznamov SHMÚ fúkal silnejší vietor so silou 6 m.s^{-1} (v nárazoch 9 m.s^{-1}) už počas tvorby ľadovej škrupiny 25. 1. 2014 (Obr. 6). Vietor bol severný a silno mrzlo, takže ľad bol tuhý a nepresúval sa. V nasledujúcom období fúkal silnejší vietor už 1. 2. 2014 so silou 8 m.s^{-1} (v nárazoch až 15 m.s^{-1}) (Obr. 6). Mal vhodný juhozápadný smer. Tento dátum sa časovo prelína s výrazným oteplením. Preto predpokladáme, že k nasúvaniu ľadovej škrupiny na ploché pobrežie pri Bobrove (Obr. 1) došlo pravdepodobne v tento deň. Ľadové platne sa mnohonásobne vŕšili naplocho na seba v akýchsi príkrovoch (Obr. 4D, E,F). V tomto druhom prípade prebiehalo nasúvanie jednotlivých ľadových plátňi prevažne pravidelne na seba (Obr. 4F). Takáto masa ľadu môže pred sebou tlačiť piesok i štrk, deformovať sedimenty a presúvať ich na niekoľko metrov vzdialenosť proti brehu (Obr. 4D,E). Mechanizmus nasúvania ľadu na pobrežie je zaznamenaný aj na internete (IZ2). Na obrázku 4D vidieť, že sa ľadové kopy intenzívne topia. Väčšia časť ľadu sa do 10.3.2014 stihla roztopiť. Avšak ešte po 38 dňoch teplého počasia dosahovali niektoré ľadové valy výšku až 1 m a dĺžku niekoľko 10 m. Sunutý ľad zanechal na mäkkom piesčitom brehu ryhy a vo svojom čele sunutím piesku a miestami aj štrku, vytvoril akoby „čelnú morénu“ (Obr. 4D).

Obrázok 5. Priemerná denná teplota vzduchu na meteorologickej stanici Oravská Lesná v prvej tretine roku 2014. Výrazné je krátke ochladenie okolo 25. 1. v ináč nadpriemernne teplej zime (IZ1).



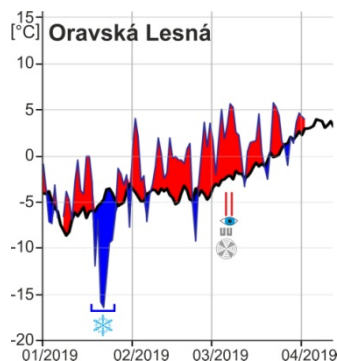
Obrázok 6. Priemerná hodinová rýchlosť vetra (hrubá čiara) a nárazy vetra (tenká čiara) na meteorologickej stanici Liesek v období od 1. 1. 2014 do 1. 3. 2014 (Bochniček a Ondruška, 2014a,b).



Situácia v roku 2019

Podľa meteorologických záznamov SHMÚ zo zimy 2018–2019 sa tvorila ľadová vrstva na hladine Vodnej nádrže Orava najmä počas výrazného ochladenia medzi 18. 1. a 26. 1. 2019 (Obr. 7 a 8 – Bochníček a Ondruška, 2019a,b,c). Začiatkom marca intenzívne stúpala hladina vody v dôsledku topenia snehu. K nasúvaniu ľadu došlo až dva krát krátko po sebe, a to 5. 3. 2019 a 7. 3. 2019 (Obr. 7 a 8). Nahromadený ľad sme pozorovali 6. 3. 2019 a 8. 3. 2019 (Obr. 9A, 9B). Ľad s hrúbkou cca 10 cm sa nahromadil na viacerých miestach pobrežia (Obr. 1 – lokality A, B a C) vo valoch až 1 m vysokých a niekoľko 10 m dlhých. V porovnaní s nasúvaním z 5.3. sa ľadový val 7.3. na lokalite B posunul aspoň o 3 m ďalej na pobrežie a z časti prekryl porast mladých vrúb (porovnaj Obr. 9A a 9B). Okrem porastu bol ľadom ohrozený aj rybársky čln. Niektoré uvoľnené kryhy prenášali sedimenty z dna, ktoré v nich uviazli (Obr. 9C). Vietor dosahoval rýchlosť 10 až 13 m.s⁻¹ (v nárazoch až 18 m.s⁻¹) (Obr. 8 – Bochníček a Ondruška, 2019a,b,c).

Obrázok 7. Priemerná denná teplota vzduchu na meteorologickej stanici Oravská Lesná v prvej tretine roku 2019. Výrazné je krátke ochladenie medzi 18. 1. a 26. 1. 2019 (IZI).

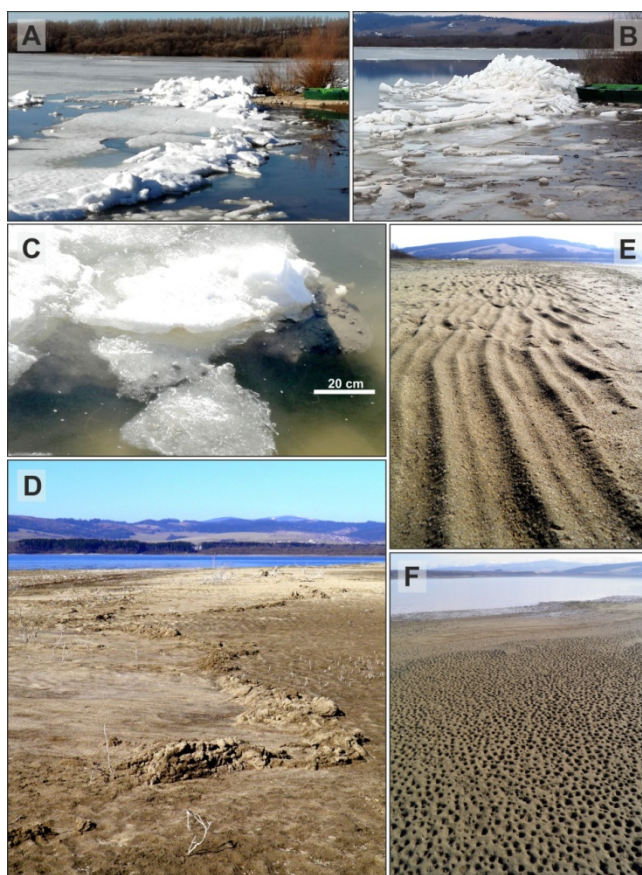


Diskusia

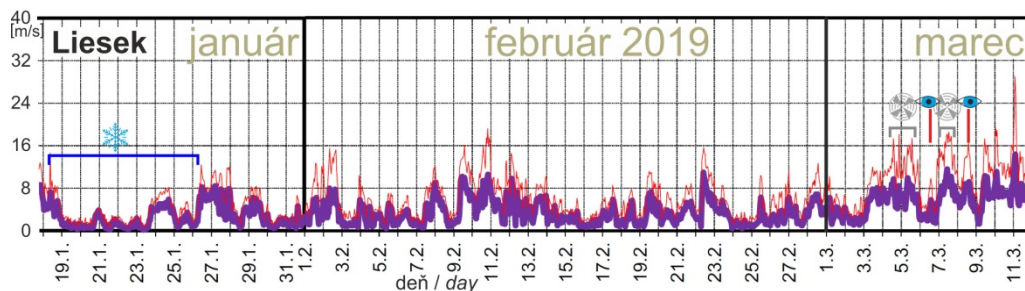
Vodná nádrž Orava si za 65 rokov svojej existencie vytvorila vlastné ekosystémy s vývojom pestrých morfológických a sedimentárnych fácií a biotopov (Obr. 9E,F). Sú tu kamenité, piesčité či bahňité pláže, široké, ploché pobrežie, ale i úzke strmé zrázy. Časť strmých brehov,

kde prebiehala erózia, vodohospodári umelo spevnili. Vývoj a režim pobrežných ekosystémov ovplyvňuje najmä človek zmenami výšky vodnej hladiny. Významne na ne vplýva vietor vlnením, ale podľa najnovších zistení do tohto procesu prispieva aj vetrom vyvolané sunutie ľadu. Hoci tento jav tu nedosahuje pravidelnosť a intenzitou akú má v subpolárnych a polárnych oblastiach, jeho podiel na tvorbe pobrežia nie je zanedbateľný (porovnaj Orviku et al., 2011).

Obrázok 9. A, B: Ľadový val na lokalite B 6. 3. a 8. 3. 2019; C: Uvoľnené kryhy prenášali sedimenty z dna; D: „Čelná moréna“ a škrabance po sunutí ľadových platin juhovýchodne od lokality B na piesčitom podklade, ľad sa už roztopil; E, F: Pestré morfológické útvary vyvinuté na pobreží Vodnej nádrže Orava (rok 2014, foto F. Teťák); E: Čeriny z vlnenia plytkej pobrežnej vody na piesčitom pobreží. F: Otvory sústím komôrok červov na bahňitom pobreží (foto F. Teťák).



Obrázok 8. Priemerná hodinová rýchlosť vetra (hrubá čiara) a nárazy vetra (tenká čiara) na meteorologickej stanici Liesek v období od 18. 1. do 12. 3. 2019 (Bochníček a Ondruška, 2019a,b,c).



Pre interpretáciu týchto, ale aj mnohých iných prírodných úkazov a procesov, sa ukazujú ako neoceniteľné údaje zaznamenávané sieťou staníc SHMÚ ako aj jeho voľne dostupné databázy (IZ1). Vďaka databáze meraní teplôt a vetra z meteorologických staníc Liesek a Oravská Lesná môžeme presne dokumentovať čas zamŕzania hladiny Vodnej nádrže Orava i obdobie oteplenia so silným vetrom, ktorý dal masu ľadu do pohybu. Použité grafy boli zvolené z dôvodu voľného prístupu k nim na internete, hoci SHMÚ disponuje presnejšími meraniami.

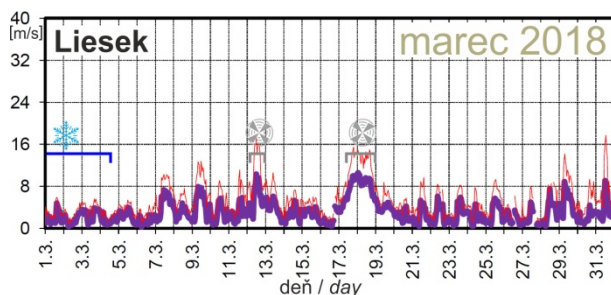
Známe sú nám zatiaľ tri prípady nasúvania ľadových kryh hnaných vetrom na pobrežie vodnej nádrže Orava. V prvom prípade bolo toto nasúvanie pozorované priamo. V druhom prípade 38 dní po udalosti. Náhodnosť pozorovania tohto javu, podmienky pri ktorých prebiehalo a najmä príklady z Pobaltia a Severnej Ameriky nasvedčujú, že v praxi je tento jav bežný a treba s ním počítať pri rôznych činnostiach týkajúcich sa brehov väčších vodných plôch.

Nie v každom prípade, keď sú podmienky pre vznik spomínaného javu zdanlivo splnené, skutočne k nemu musí aj dôjsť. Napríklad v marci 2018 boli podmienky priaznivé, no k presúvaniu ľadu na pobrežie nedošlo. Počas výrazného ochladenia medzi 22. 2. až 7. 3. 2018 hladina Vodnej nádrže Orava zamrzla (Obr. 10). Teplé počasie sprevádzané vetrom s vhodným smerom o sile 12 m.s^{-1} (v nárazoch 16 m.s^{-1}) nastalo 12. 3. 2018. Avšak ľad pravdepodobne nebol po okrajoch dostatočne voľný.

Obrázok 10. Priemerná denná teplota vzduchu na meteorologickej stanici Oravská Lesná v prvej tretine roku 2018. Výrazné je krátke ochladenie medzi 22. 2. až 7. 3. 2018 (IZ1).



Obrázok 11. Priemerná hodinová rýchlosť vetra (hrubá čiara) a nárazy vetra (tenká čiara) na meteorologickej stanici Liesek v období od 1. 3. 2014 do 1. 4. 2018 (Bochníček a Ondruška, 2018).



Záver

Na Vodnej nádrži Orava bolo vetrom vyvolané presúvanie ľadu na pobrežie pozorované v troch prípadoch, začiatkom rokov 2010, 2014 a 2019. V sledovaných prípadoch bola predpokladom súhra a následnosť niekoľkých meteorologických podmienok. Prvou je niekoľkodňové silné ochladenie pri ktorom sa na väčšej vodnej hladine utvorí ľadová škrupina asi 5 až 10 cm. Následne je potrebné oteplenie pri ktorom ľad zmäkne a uvoľní sa od brehu. Na to aby sa dostal ľad do pohybu stačí vietor s rýchlosťou 8 m.s^{-1} (v nárazoch 15 m.s^{-1}) s vhodným smerom a mierne sklonené pobrežie. Ľadové príkrovy sa na brehu nasúvajú plocho na seba, prípadne sa triešťa na menšie kryhy či kusy. Masa ľadu môže pred sebou tlačiť piesok i štrk a tieto sedimenty deformovať a presúvať na niekoľko metrov vzdialenosť proti brehu. Pri vodnej ploche veľkosti Vodnej nádrže Orava možno očakávať aj viac než 1 m vysoké a niekoľko 100 m dlhé ľadové valy, ktoré sa na brehu môžu zachovať aj niekoľko týždňov. Situácia z roku 2019 je príkladom, že vznik javu je možné predpovedať. Najmä pri vysokej hladine vody je tento jav potenciálnym ohrozením pobrežných porastov a objektov. Je to zaujímavý a nedocenený fenomén, ktorý by bolo zaujímavé sledovať aj vo fosílnych záznamoch sedimentov.

Rovnaký princíp sunutia ľadu na pobrežie, no v oveľa väčších rozmeroch, bol zaznamenaný napríklad aj v oblasti Baltského mora a v Severnej Amerike. Ukazuje sa, že spomínaný jav môže vznikať aj na menších vodných plochách, akou je napríklad Vodná nádrž Orava. Databáza meteorologických a klimatických meraní pomáha pri interpretácii tohto javu. Náhodné pozorovanie a podmienky pri ktorých prebiehalo naznačujú, že v praxi je tento jav oveľa bežnejší a treba s ním počítať pri rôznych činnostiach týkajúcich sa brehov väčších vodných plôch (vodoochranských, stavebných, environmentálnych). Nasúvanie ľadu síce v oblasti Vodnej nádrže Orava neohrozuje žiadne stavby, ale prispieva k nežiaducej erózii brehov a môže byť potenciálne nebezpečné pre náhodných pozorovateľov.

Do budúcnosti by bolo zaujímavé sledovať tento fenomén aj na iných vodných nádržiach Slovenska, pokúsiť sa predpovedať jeho vznik a zároveň spresniť parametre, ktoré naň vplyvujú – teplota zamŕzania, hrúbka ľadu, oteplenie, sila a smer vetra, sklon pobrežia.

Summary

We observed the ice creeping (ice shove or onshore ice pile-up) driven by wind on the coast of Orava dam in three cases in the beginning of years 2010, 2014 and 2019. An interplay and succession of several meteorological factors is precondition in all cases. Several-day freezing temperatures are the first requirement. It forms the ice layer. Thereafter, warming is required, in which the ice softens and releases from the shore. The wind from suitable direction with speed of 8 m.s^{-1} (wind gusts 15 m.s^{-1}) is sufficient to get the ice in motion against slightly sloped coast. The ice floe (like nappes) slid over to one another on the shore, or they break to smaller floes or pieces. Ice mass can push the sand and gravel in front of it and it can move the sediments even a few meters along the shore. More than

a meter high and a few hundred meters long ice mounds can form on the shore of water surfaces such as the Orava dam and subsequently preserve on the shore for several weeks. It is a sedimentological phenomenon which would be interesting to observe also in fossil sediments.

The same principle of ice creeping on the shore, but in larger measure, was observed e.g. in the Baltic Sea and North America. It turns out that this phenomenon can also occur on medium-sized water surfaces, such as the Orava dam. The database of meteorological and climatic measurements is helpful in interpretation of these phenomena.

Ice creeping on shore driven by wind is a rare and little-known phenomenon. Accidentally observed two cases of this phenomenon not exclude that in practice this is much more common and it should be taken into account in activities related to shores of larger water reservoirs, such as water protection, civil engineering and environment. Although, the ice creeping in the Orava dam does not endanger buildings, it contributes to undesirable erosion of the banks and it may be potentially dangerous for accidental observers.

Pod'akovanie

Chcel by som poďakovať E. Šiškoví za poskytnutie fotografií a informácií z nasúvania ľadu v roku 2010.

Literatúra

- Alestalo, J.–Häikiö, J., 2013, *Ice features and ice-thrust shore forms at Luodonsele, Gulf of Bothnia, in winter 1972/73. Fennia–International Journal of Geography*, 144 (1).
- Björk, G.–Nohr, CH.–Gustafson, B.G.–Lindberg, A.E.B., 2008, *Ice dynamics in the Bothnian Bay inferred from ADCP measurements. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 60 (1), 178–188.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2010, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 16 (3), 42p.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2014a, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 20 (1), 46p.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2014b, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 20 (2), 67p.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2018, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 24 (3), 67p.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2019a, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 25 (1), 65 p.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2019b, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 25 (2), 65 p.
- Bochníček, O.–Ondruška, P., 2019c, *Bulletin Meteorológia a Klimatológia. SHMÚ, Bratislava* 25 (3), 65 p.
- Gilbert R., 1991, *Ice Pile-Up on Shores in Northwestern Lake Ontario during Winter 1990. Géographiephysique et Quaternaire*, 45(2), 241–244.
- Gilbert, R.–Glew, J.R., 1986, *A wind-driven ice-pushevent in eastern Lake Ontario. Journal of Great Lakes Research*, Elsevier, 12, 326–331.
- Girjatowicz, J.P., 2014, *Ice thrusting and hummocking on the shores of the southern Baltic Sea's coastal lagoons. Journal of Coastal Research*, 30 (3), 456–464.
- Girjatowicz, J.P., 2015, *Ice phenomena as a tourism set on the southern coast of the Baltic sea. University of Szczecin, Tourism*, 25 (1), 456–464.
- Christensen, F.T., 1994, *Ice Ride-up and Pile-up on Shores and Coastal Structures. Journal of Coastal Research*, 10 (3), 681–701.
- Kovacs, A.–Sodhi, D.S., 1980, *Shoreicepile-up and ride-up: Field observations, models, theoretical analyses. Cold Regions Science and Technology*, Elsevier, 2, 210–288.
- Kovacs, A.–Sodhi, D.S., 1981–1982, *Icepile-up and ride-up on arctic and subarctic beaches. Coastal Engineering*, Elsevier, 5, 247–273.
- Leppäranta, M., 2013, *Land-iceinteraction in the Baltic Sea. Estonian Journal of Earth Sciences*, 62 (1), 2–14.
- Mahoney, A.–Eicken, H.–Shapiro, L.–Grenfell, T.C., 2004, *Ice motion and driving forces during a spring ice shove on the Alaskan Chukchi coast. Journal of Glaciology*, 50, 169, 195–207.
- Orviku, K.–Jaagus, J.–Tõnisson, H., 2011, *Sea ice shaping the shores. Journal of Coastal Research, Poland (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium)*, SI 64, 681–685.
- Sodhi, D.S.–Hirayama, K.–Haynes, F.D.–Kato, K., 1983, *Experiments on iceride-up and pile-up. Annals of Glaciology* 4, 266–270.
- Tet'ák, F. (ed.)–Kováčik, M.–Pešková, I.–Nagy, A.–Buček, S.–Maglay, J.–Vlačíky, M., 2016, *Geologická mapa regiónu Biela Orava v mierke 1 : 50 000. MŽP SR / Št. geol. úst. D. Štúra, Bratislava*.
- Tsang, G., 1974, *Ice piling on lakeshores with special reference to the occurrences on Lake Simcoe in the spring of 1973. Environment Canada, Inland Waters Directorate, Scientific Series*, 35, 12 p.

IZ1 – Internetový zdroj 1:

www.shmu.sk – klimatologické spravodajstvo

IZ2 – Internetové zdroje 2:

www.youtube.com – heslo „icecreeping“

<http://www.balatonreal.hu/balaton-terasz-tarsashaz/balatonlelle-kedvcsinalo/>

<http://www.alamy.com/stock-photo-many-iceblocks-on-each-other-in-lake-balaton-of-hungary-132384443.html>
<http://www.elmenyvilag.com/2017/01/07/fagy-es-jeg-mutatunk-par-gyonyoru-fotot-az-orszagbol/>

František Tet'ák

Štátny geologický ústav D. Štúra, Bratislava

KONFERENCIA

OCHRANA OVZDUŠIA 2018

V dňoch 28. – 30. novembra 2018 sa v prostredí Štrbského Plesa konala ďalšia významná medzinárodná konferencia v oblasti ochrany ovzdušia a zmeny klímy. Konferencia má niekoľko ročnú tradíciu a je najvýznamnejším podujatím medzinárodného charakteru v tejto oblasti organizovanom na Slovensku. Konferencie sa zúčastnili okrem iného aj viacerí pracovníci Odboru emisie a biopalivá (OEaB) Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ). Náš ústav je aj jedným z organizátorov a odborným garantom konferencie.

Počas troch dní konferencie boli prednesené prezentácie a prednášky, ktoré boli rozdelené do viacerých kategórií, ku ktorým patrili témy ako: Národný program znižovania emisií, Priemyselné emisie a BAT, Stratégie na zlepšenie kvality ovzdušia a vplyv na zdravie, Zmena klímy, Prípadové štúdie na zlepšenie životného prostredia, Monitorovanie emisií a kvality ovzdušia a Modelovanie kvality ovzdušia.

Zamestnanci SHMÚ mali viacero prednášok a posterov patriacich do rôznych oblastí. Všetky spomenuté príspevky

je možné nájsť v zborníku Ochrana ovzdušia 2018¹. Zamestnanci OEaB mali 2 postery a 2 prezentácie.

K. Tonhauzer a J. Szemesová pripravili poster s názvom **Implementácia mitigačných opatrení na znížovanie emisií v poľnohospodárstve**, ktorý bol najskôr publikovaný v periodiku. Autorky v ňom analyzovali možné opatrenia, ktorých zavedenie v živočíšnej a rastlinnej výrobe by znamenalo výrazné priblíženie sa mitigačných cieľov pre amoniak v rámci smernice NEC ako aj v rámci záväzkov Slovenskej republiky pod Parížskou dohodou. Ich úspech závisí aj od príslušnej legislatívy, pomoci farmárom a v neposlednom rade aj dôslednej kontrole ich dodržiavania.

J. Horváth, L. Zetochová a J. Szemesová mali poster s názvom **Šrotovať či nešrotovať** alebo **O tom, či sú dotácie na šrotovné áut a elektromobilita účinné**. Príspevok sa zameriaval na analýzu účinnosti dotácie na šrotovné v roku 2009 ako podklad pre prípadné ďalšie projekty s podobnou myšlienkou. Druhá časť príspevku bola zameraná na analýzu úspor priamych a nepriamych emisií skleníkových plynov ako aj znečisťujúcich látok, pri dotáciách na elektromobilitu. Výsledkom je, že dotácie na úsporu emisií znečisťujúcich látok by boli málo efektívne, keďže pri rovnakom energetickom výkone sú úspory len v kilogramoch. Ak majú byť dotácie efektívne, je nutné znásobiť množstvo elektromobilov zhruba na 25 % celkového vozového parku osobných vozidiel.

I. Ďuricová, Z. Jonáček, M. Zemko a M. Jalšovská pripravili prezentáciu k výsledkom grantového projektu: **Zlepšení kvality účtov emisií do ovzdušia a rozšírenie poskytovaných časových radov**. Zameriaval sa na predstavenie analýzy a výsledkov štatistického zisťovania, ktoré sa venovalo vykurovaniu domácností tuhým palivom. V úvode I. Ďuricová spomenula, prečo sú takéto informácie potrebné a nevyhnutné. Následne Z. Jonáček prezentovala metodickú časť na stanovenie priemernej energetickej potreby domácností, nové poznatky o spotrebe palív a štruktúre spaľovacích zariadení a zmeny vo výsledných emisiách použitím novej metodiky.

J. Horváth, L. Zetochová a J. Szemesová mali prezentáciu na tému **Štatistické odchýlky reportovania motorových palív**, v ktorom sa zhodnotili vstupné dáta, ktoré sa používajú či už na vytvorenie správnej emisnej bilancie v sektore doprava alebo sa reportujú do ďalších inštitúcií. Základom správnej bilancie sú kvalitné vstupné dáta, ktoré sa však v spotrebe palív za Slovensko líšia. V prezentácii je podrobná analýza údajov, ako a ktorou inštitúciou sú zbierané a ďalej reportované. SHMÚ aktuálne porovnáva a snaží sa zharmonizovať údaje, ktoré sú reportované pod FQD (Fuel Quality Directive) pod článkami 7a a 8.

Konferencia o ovzduší je prínosom pre každého účastníka ktorý sa zaujíma o kvalitu ovzdušia a zmenu klímy. Dozvie sa o tom, aké projekty sa robia u nás, či v zahraničí, a hlbšie prenikne do problematiky. Tým, že prezentácie sú širokého zamerania a zároveň z pohľadu štátnej aj súkromnej sféry, účastník môže porovnávať problémy z viacerých strán.

Brožúrky vytvorené Cechom kachliarov by mohli byť použité ako propagačné materiály pre domácnosti počas

opätovného štatistického zberu údajov, ktorý by sme chceli uskutočniť so ŠÚ SR.

Konferencia má aj medzinárodné meno, hlavne u našich susedov v Českej republike, ale aj v Poľsku či v Bruseli, odkiaľ sa tento rok zúčastnilo viacero prednášajúcich.

Janka Szemesová
SHMÚ, Bratislava

INFORMÁCIA O VÝSLEDKoch 24. KLIMATICKEJ KONFERENCIE

V dňoch 2. – 15. decembra 2018 sa v poľských Katoviciach uskutočnila 24. celosvetová Klimatická konferencia strán Rámcového dohovoru (ďalej len „Dohovor“ alebo UNFCCC) Organizácie spojených národov (OSN) o zmene klímy (COP 24). Na tejto konferencii prebiehali súbežne okrem 24. konferencie zmluvných strán Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy aj 14. zasadnutie zmluvných strán Kjótskeho protokolu (CMP 14), 49. zasadnutie podporného orgánu pre vedecké a technologické poradenstvo (SBSTA 49), 49. zasadnutie podporného orgánu pre implementáciu (SBI 49), 7. pokračovanie prvého zasadnutia Ad hoc pracovnej skupiny pre Parížsku dohodu (APA 1-7). Zároveň sa konalo 3. pokračovanie 1. zasadnutia Konferencie strán slúžiacej ako stretnutie strán Parížskej dohody (CMA 1-3). Na konferencii sa zúčastnilo približne 14 000 delegátov a 8 000 pozorovateľov a predstaviteľov médií.

Konferencia zmluvných strán dohovoru (COP), konferencia zmluvných strán Kjótskeho protokolu (CMP) a konferencia strán slúžiaca ako stretnutie strán Parížskej dohody (CMA) sú najvyššími rozhodovacími orgánmi dohovoru, Kjótskeho protokolu a Parížskej dohody. Jednou z najdôležitejších úloh ktoré plnia, je dojednanie medzinárodných zmlúv pod dohovorom, posudzovanie a konečné prijímanie rozhodnutí na plnenie cieľov a záväzkov krajín podľa dohovoru, Kjótskeho protokolu a Parížskej dohody.

Konferencia v Katoviciach bola prelomovým stretnutím pre implementáciu Parížskej dohody a pre napĺňanie jej cieľov, s ambíciou obmedzenia zvyšovania globálnej teploty na 1,5 °C v porovnaní s predindustriálnou úrovňou. Cieľom konferencie bolo prijatie súboru pravidiel pre implementáciu Parížskej dohody tzv. „Rulebook“, ktoré potvrdili medzinárodný záväzok v boji proti zmene klímy.

Otváracieho ceremoniálu dňa 3. decembra 2018 sa zúčastnilo 40 hláv štátov (z toho 14 z Európskej únie). Na plenárnom zasadnutí sa aklamačným spôsobom prítomných lídrov prijala deklarácia Solidarity and Just Transition Silesia Declaration, ktorú napriek neúčasti na úrovni hlavy štátu, resp. predsedu vlády podporila aj Slovenská republika.

V dňoch 11. – 12. decembra 2018 sa uskutočnil segment na vysokej úrovni, počas ktorého vystúpil s prejavom aj podpredseda vlády a minister životného prostredia Slovenskej republiky László Sólymos. Štátny tajomník ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky Norbert Kurilla reprezentoval Slovenskú republiku v moderovaných diskusných skupinách politickej časti Talanoa dialógu, ktoré mali za úlohu poskytnúť prehľad o smerovaní medzinárodného spoločenstva v plnení svojich záväzkov do roku 2020 a jednu z týchto diskusných skupín aj moderoval.

¹ <https://www.kongres-studio.sk/rubrika/archiv-2018/>

Konferencia sa skončila v sobotu 15. decembra 2018 v nočných hodinách prijatím záverov COP FCCC/CP/2018/L.27 a CMP FCCC/PA/CMA/2018/L.4.

Vo svojich záveroch COP znovu potvrdil, že v kontexte globálnej odozvy na zmenu klímy musia všetky strany vynaložiť a odkomunikovať ambiciózne úsilie a rozhodol o postúpení 19 rozhodnutí na zváženie a prijatie na CMA 1-3. Prílohou týchto záverov sú jednotlivé rozhodnutia, ktoré spolu tvoria súbor implementačných pravidiel Parížskej dohody, ktorý dostal názov „Katowice Climate Package“ (Katovický klimatický balíček/KCP).

Katovický klimatický balíček obsahuje podrobné pravidlá a usmernenia pre implementáciu Parížskej dohody a pokrýva všetky kľúčové oblasti vrátane transparentnosti, financovania, technológií, mitigácie a adaptácie. Schválené rozhodnutia budú riadiť medzinárodnú spoluprácu všetkých signatárskych krajín Parížskej dohody a podporovať ich individuálne ambície.

KCP je prvým univerzálnym systémom pre strany, ktorý sleduje a hlási pokrok v opatreniach v oblasti klímy, a ktorý poskytuje flexibilitu tým krajinám, ktoré ju skutočne potrebujú. To bude inšpirovať všetky strany, aby priebežne zlepšovali svoje postupy a oznámili dosiahnutý pokrok v jasných a porovnateľných podmienkach.

Tematicky sa rokovania počas dvoch týždňov konferencie týkali najmä tém:

- Právne a inštitucionálne otázky
- Mitigácia - zmierňovanie zmeny klímy prostredníctvom znižovania emisií skleníkových plynov
- Mechanizmy
- Veda a výskum
- Pôda
- Adaptácia na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy
- Straty a škody spôsobené zmenou klímy
- Budovanie kapacít
- Technológie
- Financovanie v oblasti zmeny klímy a rozpočet
- Rámec transparentnosti a systém monitorovania, reportovania a verifikácie (MRV)
- Globálne hodnotenie
- Talanoa (Facilitačný) dialóg

Klimatickej konferencie v Katoviciach sa zúčastnili aj štyria experti Slovenského hydrometeorologického ústavu, Odboru emisie a biopalív a to Ing. Janka Szemesová, PhD., Mgr. Ján Horváth, Mgr. Lenka Zetochová a Ing. Kristína Tonhauzer. V priebehu dvojtýždňového kola rokovaní sa venovali problematike nastavenia pravidiel spadajúcich pod agendu „Rámec transparentnosti a systém monitorovania, reportovania a verifikácie“.

Schválené usmernenia Katovického klimatického balíčka o rámci transparentnosti hovoria o tom, ako krajiny budú informovať o svojich národných komunikáciách (NDCs) opisujúcich ich národné záväzky v kontexte zmierňovania prejavov zmeny klímy. Tieto úlohy zahŕňujú mitigačné a adaptačné opatrenia a rovnako detaily finančnej podpory a pomoci rozvojovým najviac ohrozeným krajinám.

V agende podľa článku 13 Parížskej dohody zaoberajúcou sa reportovacími povinnosťami zúčastnených strán

a metodickými usmerneniami pre reportovanie plnenia svojich záväzkov nastal výrazný posun. Záverečné rozhodnutie obsahuje podrobný popis modalít, procedúr a usmernení pre rámec transparentnosti a pre akcie a podporu. Príloha schváleného rozhodnutia obsahuje aj modalitu pre započítavanie finančných zdrojov poskytnutých a mobilizovaných v súlade s čl. 9, ods. 7 Parížskej dohody.

COP 24 rozhodol, že posledná dvojročná správa pod súčasným režimom bude tá, ktorá bude doručená na sekretariát UNFCCC do 31. decembra 2022. Prvá dvojročná správa pod Parížskou dohodou musí byť doručená najneskôr do 31. decembra 2024. Nová forma správ bude jednotná pre všetky krajiny Parížskej dohody a nesie názov „Dvojročná správa o transparentnosti“. Súčasný rozdielne procesy rozvinutých a rozvojových krajín pre reportovanie a posudzovanie nahradí jednotný proces technického expertného posudzovania a viacstranného posudzovania progresu (multilateral assessment).

Krajiny dohovoru prílohy I (rozvinuté), ktoré majú povinnosť reportovať ročné emisné inventúry, tak budú robiť podľa nových pravidiel každoročne. Tieto národné inventúry sa budú aj každoročne revidovať.

Všetky Dvojročné správy o transparentnosti budú posudzované podľa rovnakých pravidiel a budú obsahovať rovnaké alebo podobné kapitoly. Samozrejme z kompromisného hľadiska bolo nutné zahrnúť do usmernení aj flexibilitu pre krajiny, ktoré to potrebujú z hľadiska budovania svojich odborných kapacít.

Ďalšou úlohou pre budúce vyjednávania bude dojsť na tabuľkový formát pre podávanie správ a pripraviť vhodný softvér pre reportovanie, aby sa mohli začať používať od roku 2024 pre všetky krajiny Parížskej dohody.

Janka Szemesová
SHMÚ, Bratislava

ČINNOSŤ SLOVENSKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI V ÚVODE ROKA 2019

Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV spustila v roku 2019 sériu populárno-náučných prednáškových popoludní. Naším zámerom je jedenkrát za mesiac osloviť širokú verejnosť a odprezentovať prácu meteorológov, klimatológov, hydrológov, ale aj odborníkov z príbuzných prírodovedných odborov. Všetky prednášky sú prispôbené tak, aby im rozumeli nielen odborníci, ale aj úplní laici, ktorých tá či oná oblasť hoci len okrajovo zaujíma.

Nový rok 2019 sme začali januárovou prednáškou **Mgr. Lucie Dlhošovej** z odboru Meteorologické predpovede a výstrahy SHMÚ na tému: *Ako vieme, ako bude....* (Predpoveď počasia - tvorba, skúsenosti, úskalia,...). Lucia Dlhošová (skúsená meteorologička SHMÚ, odborne a záujmovo zameraná najmä na problematiku konvektívnych javov v atmosfére, známa aj z televíznej predpovede počasia RTVS), vysvetľovala proces tvorby predpovedí a výstrah, základné zdroje údajov potrebných pre tvorbu predpovedí, úskalia modelovej predpovede počasia i skúsenosti meteorológov.

Vo februári 2019 sme sústredili našu pozornosť na klimatológiu a **Mgr. Jozef Pecho** predniesol prednášku na tému: *Významné zmeny režimu klímy na Slovensku* (...a čo nás čaká ďalej...). Klimatológ SHMÚ Jozef Pecho (pôsobil aj v ČHMÚ a AV ČR, odborne sa venuje štatistickému modelovaniu extrémnych zrážok, výskumu premenlivosti klímy a klimatickej zmeny, aj hodnotením ich dopadov najmä na území Slovenska) priblížil poslucháčom základné indikátory, pomocou ktorých je možné v časových radoch teploty vzduchu a atmosférických zrážok pozorovať rýchlu a veľmi komplexnú zmenu klímy aj na území Slovenska. Jej prejavy a dôsledky objasnil v kontexte prebiehajúceho globálneho a regionálneho otepľovania. Rovnako priblížil scenáre budúcej zmeny klímy i to, čo uvedené zmeny budú znamenať pre Slovensko a jeho obyvateľstvo.

Marec každoročne prináša Svetový deň vody (22.3.) a Svetový deň meteorológie (23.3.). Aj tento rok sme pri príležitosti týchto významných udalostí pripravili v spolupráci so Slovenským hydrometeorologickým ústavom odborné semináre – jeden sa konal 20. 3. 2019 v SHMÚ Bratislava a ďalší 9. 4. 2019 v SHMÚ Košice. Obidva semináre priniesli rozmanité spektrum odborných tém i novinky v odbornej oblasti.

Pokračovaním série prednáškových popoludní bola v apríli prednáška **RNDr. Jána Kaňáka** na tému: *Monitovanie silných búrok meteorologickými družicami*. Ján Kaňák je špecialista odboru dištančných meraní SHMÚ, zameraný na spracovanie údajov z meteorologických družíc (pracoval na mnohých projektoch SHMÚ a EUMETSAT, venuje sa spracovaniu automatizovaných rádiolokačných meraní a spracovaniu a vizualizácii údajov z družíc Meteosat prvej i druhej generácie). Vo svojej prednáške poskytol záujemcom základné informácie o družicových pozorovaniach, objasnil metódy a výsledky spracovania týchto dát a praktické ukážky družicových produktov v prípade búrok a ďalšie špeciálne pozorovania - sopečný prach, piesok zo Sahary, prachové búrky.

Na máj je naplánovaná prednáška **Ing. Štefana Škulca, CSc.**: *Termojadrová syntéza ako zdroj energie a budúcnosť energetiky*. Štefan Škulc (bývalý dlhoročný riaditeľ SHMÚ, predtým pracoval v Oddelení meteorologického zabezpečenia jadrových elektrární SHMÚ, pracovisko Jas-

lovské Bohunice, venoval sa modelovaniu šírenia škodlivín v atmosfére) vo svojej prednáške popisuje podstatu procesu termonukleárnej syntézy, históriu a súčasný stav vývoja tohto procesu pre výrobu elektrickej energie a hlavné trendy vo vývoji energetických systémov.

Júnové popoludnie bude venované hydrologickým predpovediam a výstrahám.

Samozrejmosťou súčasťou týchto prednáškových popoludní je po ich skončení široká diskusia, ktorá bola doteraz vždy rozsiahla a zaujímavá. Prednáškové popoludnia sa konajú v kinosále Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave, ul. Jeséniova 17, v poslednej dekáde mesiaca okrem obdobia letných prázdnin a dovoleniek (júl – august).

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

Veríme, že verejnosť zaujmu aj ďalšie pripravované témy a záujemcovia o naše odbory si nájdu čas aj na tieto prednášky.

*Paulína Valová
predsedníčka SMS pri SAV*

MEDZINÁRODNÉ STRETNUTIA V OBLASTI NUMERICKÉHO MODELOVANIA A PREDPOVEDE POČASIA NA PÔDE SHMÚ

V druhom marcovom týždni sme na pôde Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave privítali účastníkov troch medzinárodných stretnutí týkajúcich sa numerického modelovania a numerickej predpovede počasia (NWP - numerical weather prediction). Výstupy z NWP modelov sú neoddeliteľnou súčasťou modernej meteorologickej praxe. Okrem poskytovania základného materiálu pre synoptikov, pre vydávanie predpovedí a výstrah, vstupujú do ďalších predpovedných systémov, napr. pre leteckú meteorológiu, hydrologické modely, nowcasting, systémy na modelovanie znečistenia ovzdušia a pod., čo kladie vysoké nároky na kvalitu NWP modelov.



*Účastníci
seminára ALARO-1
Working Days
(Foto Oldřich Španiel)*

V SHMÚ je operatívne prevádzkovaný numerický predpovedný systém ALADIN (www.cnrm.meteo.fr/aladin/). Tieto stretnutia boli venované zlepšovaniu jeho predpovedí a plánovaniu jeho ďalšieho vývoja.

Od pondelka 11. marca 2019 sa konal trojdňový seminár „ALARO-1 Working Days“, v rámci ktorého 23 odborníkov zo 7 krajín prezentovalo a diskutovalo aktuálny stav a budúci vývoj fyzikálnych parametrizácií numerického predpovedného systému ALADIN, so zámerom spresniť predpovede lokálnych meteorologických javov. ALARO (z názvu seminára) je špecifická konfigurácia NWP systému ALADIN, ktorej koncepcia umožňuje jej aplikáciu v širšom spektre priestorových mierok - od mezoškálových po konvektívne škály. Zjednodušene to znamená, že ALARO konfiguráciu (inými slovami voľbu sady fyzikálnych parametrizácií popisujúcich atmosférické procesy) môžeme spúšťať s horizontálnym krokom modelu 10 - 1 km. (Pozn. Operatívna konfigurácia modelu ALARO/SHMÚ má horizontálny krok 4,5 km, a experimentálne je testovaná verzia s krokom 2 km). Fyzikálne procesy, ktorých parametrizácie boli v rámci seminára diskutované, sa týkali radiácie, turbulencie, mikrofyziky a oblačnosti, a takisto interakcie atmosféry s procesmi na zemskom povrchu a v pôde. Ďalšími témami boli aplikácie ALARO konfigurácie v ansámblových/pravdepodobnostných predpovedných systémoch a prechod na veľmi vysoké (kilometrické) rozlíšenie.

Seminára sa aktívne zúčastnili kolegovia z SHMÚ z odboru Numerické predpovedné modely a metódy s tromi prezentáciami: M. Dian (ALARO-1 with SURFEX - currents status and plan), M. Belluš (Uncertainty simulation in ALADIN-LAEF) a M. Derková (ALARO experience in Slovakia). Všetky prezentácie z ALARO-1 Working Days sú k dispozícii na stránke <http://www.rclace.eu/?page=197>.

V ďalších dňoch sa konalo 32. zasadnutie RC LACE Steering Committee (LSC), ktorého náplňou bolo zhodnotenie činnosti konzorcia 7 stredoeurópskych krajín RC LACE (www.rclace.eu) a príprava jeho vedeckých plánov na ďalší rok. Na programe bola prezentácia vedeckých aktivít v štyroch hlavných NWP oblastiach, ktoré RC LACE zastrešuje: Fyzika, Dynamika a coupling, Asimilácia dát a Prediktabilita (ansámblové predpovede) a takisto reporty o dvoch technických činnostiach: Spravovanie a údržba zdrojových kódov a Manažment dát. Súčasťou LSC mítingu sú správy a diskusia o zmenách v lokálnych operatívnych aplikáciách NWP systémov jednotlivých členských krajinách. Odbor Numerické predpovedné modely a metódy SHMÚ na základe prezentovaných materiálov plánuje pripravovať a koriguje svoje vlastné úlohy a aktivity, so zámerom zlepšiť kvalitu výstupov systému ALADIN/SHMÚ a optimalizovať a harmonizovať odborné činnosti v rámci RC LACE.

Posledným stretnutím bolo zasadnutie RC LACE Management Group, kde SHMÚ zastupujú dvaja odborníci: M. Belluš, ako Area Leader pre oblasť Prediktability a ansámblových predpovedí, a O. Španiel ako ALADIN System Coordinator.

*Mária Derková
SHMÚ, Bratislava*

ČLENSTVO V ECMWF SKVALITNÍ NAŠE PRODUKTY

V polovici marca tohto roku sa generálny riaditeľ Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) Martin Benko (na obr. vľavo) stretol s generálnou riaditeľkou Európskeho centra pre strednodobé predpovede počasia (ECMWF) Florence Rabier a riaditeľom centra výpočtových služieb tejto organizácie Martinom Palkovičom.

Predmetom rokovania boli otázky plnoprávneho členstva SR v centre. Slovensko sa stalo jeho pridruženým členom v roku 2007. Spolupráca je realizovaná prostredníctvom autorizovanej odbornej inštitúcie, ktorou je SHMÚ. Podľa slov M. Benka: „Plnoprávnym členstvom SR získame rovnocenné partnerstvo a účasť na rozhodovacích procesoch, a tiež plné hlasovacie práva v Rade ECMWF. Znamená to, že sa budeme priamo podieľať na riadení a prijímaní strategických rozhodnutí v tejto organizácii. Získame tiež plný prístup ku všetkým produktom a softvérovým nástrojom vyvinutým v ECMWF, ale aj prístup do vysoko výkonného výpočtového systému centra, čo prinesie skvalitnenie našich predpovedí a ďalších produktov. Plnoprávne členstvo nám prinesie celý rad ďalších výhod.“ Generálnu riaditeľku ECMWF prijal na Ministerstve životného prostredia SR aj štátny tajomník Norbert Kurilla.



Ivan Garčár, SHMÚ, Bratislava

SEMINÁR „SUCHO – AKO SA NAŇ LEPŠIE PRIPRAVIŤ?“

Slovenský hydrometeorologický ústav a Global Water Partnership Central and Eastern Europe usporiadali dňa 19. marca 2019, v priestoroch SHMÚ, národný seminár o suchu.

Seminár bol záverečným bodom aktívnej spolupráce s národnými partnermi v rámci projektu DriDanube (Riziko sucha v podunajskej oblasti), ktorý je financovaný z Du-

najského nadnárodného programu. Projekt má za úlohu v krajinách podunajského regiónu mapovať pripravenosť na suchu, zlepšiť a vyvinúť nové nástroje na monitoring sucha a jeho dôsledkov. Viac informácií nájdete na:

<http://www.interreg-danube.eu/dridanube>.

Seminár bol súčasťou série národných seminárov o suchu organizovaných súbežne v desiatich partnerských krajinách. Ich cieľom bolo vymeniť si názory, skúsenosti a návrhy na zlepšenie a zdokonalenie DriDanube výstupov, ktoré sa v období konania seminárov nachádzali v konečnej fáze vývoja. Osobitná pozornosť bola venovaná tomu, ako môžu partneri začleniť výsledky projektu do svojej každodennej práce, ako môžu profitovať z novonadobudnutých informácií a zabezpečiť ich udržateľnosť.

Nedostatok vody a suchu postihujú podunajský región stále častejšie a majú veľký vplyv na hospodárstvo a blaho obyvateľstva. Napriek opakovaným negatívnym skúsenostiam a finančným stratám sa suchu stále nedostáva dostávajúca pozornosť a suchu sa stále považuje za zriedkavý fenomén. Nedávne suchá v podunajskej oblasti (2003, 2007, 2012, 2015, 2017, 2018) ukázali, že takéto extrémne sa stávajú pravidelnou črtou klímy na tomto území.

Na Slovensku sa v poslednom období najväčšie suchá vyskytli najmä v rokoch 2012, 2015 a 2017. V roku 2015 išlo o intenzívne suchu, ktoré zasiahlo veľkú časť krajiny. Najviac sa prejavilo na východnom Slovensku, kde bolo najintenzívnejšie aspoň od roku 1961. V roku 2017 bolo suchu charakteristické zas svojím rekordne dlhým trvaním. Výrazný deficit zrážok v okolí Bratislavy trval až 272 dní, čo je najviac od roku 1961. Suchu v roku 2012 sa podpísalo na podstatnom znížení úrody obilnín.

Dá sa po takýchto skúsenostiach povedať, že sme už lepšie pripravení na ďalšie suchu? Nie je čas prestať čakať na straty, ktoré prinesie nasledujúce suchu a začať konať s cieľom zmierniť jeho následky, alebo im zabrániť? Partneri projektu DriDanube sú presvedčení, že k suchu je potrebné pristupovať proaktívnym spôsobom, v spolupráci na všetkých úrovniach. Cieľom projektu je pomôcť všetkým zainteresovaným stranám, ktoré sa podieľajú na manažmente sucha, zefektívniť reakciu v prípade výskytu sucha a pomôcť pri príprave zvládnutia nasledujúceho sucha.

Projekt vyvinul nasledujúce nové nástroje na efektívnejšie riadenie sucha:

- **Inovatívny nástroj monitorovania sucha – Drought Watch** - Tento on-line nástroj integruje všetky dostupné údaje, vrátane údajov z diaľkového snímania a umožňuje monitorovať, predpovedať a reagovať počas vývoja sucha rýchlejšie a s vyššou presnosťou.

- **Jednotný prístup pre zber údajov o vplyve sucha a hodnotenie rizika sucha** - Monitorovanie sucha bolo doteraz v jednotlivých krajinách podunajskej oblasti nejednotné. Vylepšené a porovnateľné metodiky medzi krajinami podunajského regiónu týkajúce sa rizika sucha a posúdenia jeho vplyvu sú teraz začlenené do programu Drought Watch, aby sa umožnila lepšia synchronizácia a presná reakcia na úrovni rozhodovania pre zvládnutie dôsledkov sucha. V tomto ohľade všetci partneri projektu pracujú na vytvorení siete reportérov vplyvov sucha v celom podunajskom regióne. Počet zaregistrovaných reportérov už prekročil

1 000. Ich úloha je rozhodujúca pre správne fungovanie sledovania sucha, pretože vstupné dáta zo satelitov a pozemných meteorologických staníc sú takto ďalej overované a dopĺňované sledovaniami reportérov v reálnom čase. V súčasnej dobe máme na Slovensku aktívnych 118 reportérov z 51 okresov. Najviac reportérov vyplňa poľnohospodársky dotazník (77 reportérov). Ovocinársky a vinársky dotazník vyplňa 27 reportérov a 14 reportérov lesnícky dotazník. Najvyšší počet reportérov je sústredených v juhozápadnej časti Slovenska, postupne sa pridávajú aj reportéri z iných okresov Slovenska. Sú však oblasti, ktoré ešte nemáme pokryté žiadnym reportérom, preto uvítame každú spoluprácu pri našej spoločnej snahe monitorovať suchu a eliminovať jeho dopady.

- **Stratégia podporujúca proaktívne riadenie sucha v regióne** - Stratégia poskytne jasné usmernenia na prekonanie nedostatkov v procesoch rozhodovania o suchu a na zlepšenie reakcie v núdzových situáciách v oblasti sucha v podunajskej oblasti.

Program seminára bol rozčlenený na predstavenie niektorých domácich nástrojov na boj proti suchu, ktorými sú najmä Akčný plán boja proti suchu na Slovensku ako aj informačná kampaň „Proti suchu“. Ďalej boli predstavené jednotlivé výsledky projektu DriDanube so zameraním na manažment sucha, použitie on-line nástroja Drought Watch a predstavenie výsledkov národnej reportovacej siete o dôsledkoch sucha. V ďalšom programe, v riadených diskusiách boli prezentované názory našich národných partnerov na uvedené bloky problematik. Poznatky z diskusie boli zaslané partnerom projektu, zodpovedným za predmetnú problematiku. Príspevky zo seminára je možné nájsť na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2363>

Pavel Šťastný, Katarína Mikulová
SHMÚ, Bratislava

DEŇ OTVORENÝCH DVERÍ NA SHMÚ

Slovenský hydrometeorologický ústav pripravil 22. a 23. marca tohto roku prezentačné podujatie Deň otvorených dverí. Pravidelne ho SHMÚ organizuje pri príležitosti Svetového dňa vody (22. marca) a Svetového meteorologického dňa (23. marca).

Svetová meteorologická organizácia k týmto významným dňom vyhlasuje heslá, ktorých úlohou je, okrem marketingovej a mediálnej podpory významných dní, poukázať na úlohu riešiť najpálčivejšie problémy spojené s prírodou, počasím alebo vodou. Heslom Svetového meteorologického dňa 2019 bolo „Slnko, Zem, počasie“ (The Sun, the Earth and the Weather) a heslom Svetového dňa vody „Nenechať nikoho bokom“ (Leaving no one behind). Myšlienkou, ktorá by sa dala voľne preložiť aj ako dostupnosť vody pre každého, sa WMO snažila poukázať na spravodlivý a rovnaký prístup k vode pre všetkých.

Úlohou Dňa otvorených dverí na SHMÚ je už tradične prezentovať činnosti odborných úsekov. Organizátori si kladli za cieľ zlepšiť povedomie o SHMÚ, zvýšiť návštevnosť webovej stránky, so zameraním prioritne na stredoškolskú mládež, ktorá je cieľovou skupinou SHMÚ.



Podľa slov generálneho riaditeľa SHMÚ Martina Benka, „chceli sme podnietiť stredoškôľakov k štúdiu prírodných vied, matematiky, fyziky, meteorológie, resp. pritiahnúť mládež k témam, ktoré súvisia s činnosťou a zameraním SHMÚ. A to najmä preto, že záujem o štúdium prírodných vied neustále klesá.“

Veľkému záujmu návštevníkov sa okrem jednotlivých pracovísk tešili aj prednášky na zaujímavé témy:

- Ing. Martin Housa - *Letecká meteorologická služba*
- Prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD. - *Voda v krajine, povodne a suchá v podmienkach meniacej sa klímy*
- Mgr. Miroslav Šinger
Tornádo na východnom Slovensku v októbri 2018
- RNDr. Ján Kaňák - *Ako fungujú a čo nám ukazujú meteorologické družice*
- Mgr. Peter Holomáň - *Smogové situácie*
- Mgr. Ladislav Méri
Čo sa deje, keď sa blýska a hromy divo bijú?
- Mgr. Jozef Pecho
Klimatické modely a prečo im máme dôverovať

Ivan Garčár
hovorca SHMÚ

SEMINÁR PRI PRÍLEŽITOSTI SVETOVÉHO DŇA METEOROLÓGIE A SVETOVÉHO DŇA VODY

Pri príležitosti Svetového dňa meteorológie a Svetového dňa vody sa v polovici marca na regionálnom pracovisku SHMÚ v Košiciach konal odborný seminár pod záštitou

Slovenskej meteorologickej spoločnosti. Na seminári zazneli prednášky zo širokého spektra, ktoré svojim obsahom pokrývali hlavné heslá Svetovej meteorologickej organizácie.

Podľa slov Heleny Hlavatej, vedúcej odboru Meteorologická služba SHMÚ v Košiciach, odzneli na prednáškach zaujímavé informácie. „Anna Pribullová z NRC v Gánovciach uviedla, že ozónová vrstva sa na niektorých miestach postupne obnovuje. Kolegovia z Gánoviec zároveň prezentovali zaujímavé údaje o experimentálnom pozorovaní, respektíve meraní fyzikálnych veličín, nielen počas stúpania meteorologického balónu, ale aj pri zostupe po jeho prasknutí. V čase pádu sondy späť na zem pozorujú jej trajektóriu a zaznamenávajú údaje, ktoré poskytuje. Dozvedeli sme sa tiež, že v roku 2018 hydroológovia zaznamenali hydrologické suchu aj v oblastiach ako Kysuce a Orava, čo je ďalším dôkazom meniacej sa klímy na Slovensku,“ uzavrela H. Hlavatá.

Program seminára:

- Anna Pribullová
Obnovuje sa ozónová vrstva Zeme?
- Jozef Depta
Aerologické merania v Poprade – Gánovciach
- Vlasta Ondrejka Harbuláková
Pripravenosť obcí východného Slovenska na riešenie ochrany pred povodňami
- Rastislav Fijko
Ochrana pred povodňami povodia hornej Tople
- Paulína Valová
Predpoveď počasia a výstrahy pred nebezpečnými javmi – podmienky, podklady, výsledky, úskalia.

- Milan Gomboš, Helena Hlavatá, Branislav Kandra
Vývoj evapotranspiračného deficitu na VSN vo vegetačných obdobiach rokov 1970-2015
- Svetlana Bičárová
Výskumné aktivity UVZ SAV vo Vysokých Tatrách
- Jozef Pecho, Pavol Faško, Ladislav Markovič
Zmena klímy - jej prejavy a dôsledky na Slovensku
- Katarína Melová, Soňa Liová, Jana Podolinská, Beata Síčová - *Hydrologické extrémny v roku 2018*
- Lucia Mrázová, Dorota Simonová
Zhodnotenie povodňových situácií na tokoch východného Slovenska v roku 2018

Ivan Garčár
hovorca SHMÚ

23. STRETNUTIE SNEHÁROV

V dňoch 27.–29. 3. 2019 sa na Táloch v Nízkych Tatrách uskutočnilo 23. stretnutie snehárov. Na podujatí organizovanom Regionálnym pracoviskom SHMÚ v Banskej Bystrici sa zúčastnilo 32 účastníkov zo Slovenska a Česka, ktorí reprezentovali operatívnu hydrológiu, klimatológiu, vzdelávanie aj výskum – Slovenský (SHMÚ) a Český (ČHMÚ) hydrometeorologický ústav, Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied (ÚH SAV), Stredisko lavínovej prevencie Horskej záchranej služby (SLP HZS), Prírodovedecká fakulta Univerzity Karlovy v Prahe (PrF UK Praha) a Univerzity Komenského v Bratislave (PrF UK), Správa Národného parku Šumava (NP Šumava).

Stretnutie sa uskutočnilo v povodí Bystrianky, kde Ústav hydrológie SAV vykonával v rokoch 1963–1992 výskum, ktorý položil základy hydrológie snehu na Slovensku. Povodie Bystrianky bolo vybrané ako reprezentatívne povodie pre Nízke Tatry z hľadiska tvorby zásob vody v snehovej pokrývke v horských oblastiach. Výber povodia ovplyvnila veľká výšková členitosť (700–2043 m n. m.), dobrá dostupnosť, existencia monitorovania SHMÚ, možnosť ubytovania aj spolupráce so Strediskom lavínovej služby v Jasnej.

Počas odborného seminára bolo prezentovaných šesťnásť príspevkov, venovaných meraniu a modelovaniu charakteristík snehovej pokrývky, ich interpolácii v priestore a čase, meteorologickým analýzám s dôrazom na výskyt a rozloženie snehovej pokrývky, lavinám, snehovým a ľadovým povodňami a tiež spolupráci operatívnej hydrológie s protipovodňovými orgánmi.

Seminár otvoril L. Holko (ÚH SAV), ktorý účastníkov oboznámil s históriou monitoringu snehovej pokrývky v experimentálnom povodí Bystrianky. Následne sa predstavili kolegovia zo Strediska lavínovej prevencie Horskej záchranej služby (F. Kyzek, P. Krajčí) s prednáškami na tému 10. výročia 100-ročnej lavíny v Žiarskej doline a 20 rokov lavínových nehôd na Slovensku. Možnosti využitia LiDARových dát pre NP Šumava a Bavorský les prezentoval J. Roubínek (NP Šumava). O novinkách v oblasti rozvoja automatických snehomerných staníc v ČHMÚ informoval V. Vajskebr (ČHMÚ). Prvý večer uzavrel M. Jeníček (PrF UK Praha) príspevkom o modelovaní dopadov zmien snehovej pokrývky na letné prietoky.

Druhý deň dopoludnia nás čakala exkurzia na zachytený prameň Stará Trangoška a do Jaskyne mŕtvych netopierov. Obidve lokality sú v povodí Bystrianky. Prameň Stará Trangoška vyteká z mezozoickej štruktúry, ktorá je zložito tektonicky zaklinená do kryštallického podložia. Samotný prameň sa nachádza na južnej strane v Ďumbierskej časti Nízkych Tatier pod Chopkom. Mezozoická štruktúra, známa pod názvom „synklinála Trangošky“, je silne tektonicky redukovaná, tvorí úzky pruh východozápadného smeru s úklonom k juhu. Je tvorená hlavne strednotriasovými vápencami a dolomitmi.

Prameň vyteká zo skrasovatených vápencov v nadmorskej výške 1125 m n. m. V 70-tych rokoch minulého storočia bol prameň zachytený a odvtedy je vodárensky využívaný pre širšiu oblasť mesta Brezno. Vodárenský objekt patrí pod správu Stredoslovenská vodárenská spoločnosť a. s., Banská Bystrica. Prameň je v zmysle zákona NR SR č. 201/2009 Z. z., zaradený do štátnej hydrologickej siete pozorovacích objektov prameňov Slovenska.



Režimové pozorovania výdatnosti prameňa, ktoré zabezpečuje Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica sa realizujú od roku 1992. Merania sa vykonávajú na mernom objekte typu Bazinov priepad. Vodný stav a teplota vody sú merané a zaznamenávané pomocou automatickej monitorovacej stanice v 1-hodinovom kroku.

Jaskyňa mŕtvych netopierov je lokalizovaná v centrálnej časti Nízkych Tatier v Ďumbierskom krase. Vchod leží v nadmorskej výške 1520 m n. m. Svojou dĺžkou 19 km a prevýšením 320 m sa radí k najväčším jaskyniam na Slovensku. V jaskyni sa nachádza obrovský podzemný priestor – Bystrický dóm, ktorého rozloha je väčšia ako futbalové ihrisko. Jaskyňa za svoj názov vďačí množstvu netopierich kostičiek ponachádzaných v jaskyni. Prehliadku jaskyne organizuje Speleoklub Slovakia-Bystrá.

Druhý deň popoludní pokračoval prednáškami na tému povodní – ľadových (M. Garaj, ÚH SAV) a z topiaceho sa snehu (E. Kopáčiková, H. Hlaváčiková, SHMÚ). Povodňový blok uzavrela M. Kimlová (ČHMÚ) s informáciami o spolupráci českej hydroprognózy s Hasičským záchranným zborom ČR počas tohtoročnej zimy.

V nasledujúcom bloku zazneli prednášky venované meteorologickým analýzám výskytu zimných zrážok a rozloženia snehovej pokrývky – v pohorí Vtáčnik pri južnej cyklonálnej situácii (J. Mészáros, ÚH SAV, N. Polčák, SHMÚ, PRIF UK), na území Slovenska pri západných cyklonálnych situáciách (M. Halaj, PrF UK) a v česko-poľskej oblasti Jizerských hor a Krkonoš (I. Zusková, ČHMÚ). Kolegovia z ostravskej pobočky ČHMÚ analyzovali snehovú pokrývky na Lysej hore v zime 1910–1911, kedy bola nameraná najvyššia výška celkovej snehovej pokrývky na území ČR v období prístrojového pozorovania. Na vplyv disturbance lesa na energetickú bilanciu snehovej pokrývky v experimentálnom povodí Ptáčieho potoka v centrálnej časti Šumavy sa vo svojom príspevku sústredil O. Hotový (PřF UK Praha).

Tretí prednáškový blok druhého dňa bol zameraný na hydrologické modelovanie. M. Danko (ÚH SAV) a kol. sa zaoberali vplyvom spôsobu stanovenia teplotného faktora na simuláciu vodnej hodnoty snehu. Ako sa na výkonnosti hydrologického modelu prejaví zahrnutie údajov o vodnej hodnote snehu do kalibrácie hydrologického modelu prezentoval v svojom príspevku P. Slezák (ÚH SAV) a kol. Modelový blok zakončil J. Krejčí (ČHMÚ) s prednáškou venovanej predstaveniu modelu GRID-SNOW.

Na záver nás R. Hancvencel zoznámil s históriou vývoja laminátového snehomerného valca DOLFI (Dreamingly Original Light Fiberglass), ktorý sa v súčasnej dobe bežne používa vo viacerých krajinách na manuálne meranie výšky

a vodnej hodnoty snehu. Tento snehomerný valec patrí k štandardnému vybaveniu v sieťach klimatologických a zrážkomerných staníc ČHMÚ a SHMÚ.

Nasledujúce snehárske stretnutie sa uskutoční v roku 2021 v Českej republike.

*D. Kyselová, K. Hrušková, T. Trstenský
SHMÚ, Banská Bystrica*

NÁVŠTEVA INDONÉZSKEJ VEĽVYSLANKYNE

Generálny riaditeľ SHMÚ Martin Benko prijal koncom apríla 2019 veľvyslankyňu Indonézskej republiky na Slovensku, Adiyatwidi Adiwasovú. Hovorili o možnostiach spolupráce, a tiež o výmene znalostí a skúseností z oblasti meteorologického a hydrologického monitoringu. Podľa slov M. Benka, obidve strany spolupracujú už ako členovia Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) veľmi úspešne, a „pani veľvyslankyňa navrhuje rozšíriť spoluprácu aj v oblasti vedy a výskumu. Spomínaný monitoring môže priniesť zaujímavé obchodné možnosti pre slovenské firmy, ktoré sa zaoberajú výrobou alebo predajom príslušnej prístrojovej techniky. Živo sa zaujímala aj o predpovedné výstupy a vývoj modelu ALADIN, na ktorom participujú aj naši pracovníci.“

Základom rozšírenia spolupráce môže byť podľa M. Benka platná Rámcová dohoda o komplexnom partnerstve a spolupráci medzi Európskym spoločenstvom a jeho členskými štátmi na jednej strane a Indonézsou republikou na strane druhej. V článku 1, bod 3. sa uvádza, že zúčastnené strany potvrdzujú svoje odhodlanie presadzovať trvalo udržateľný rozvoj, spolupracovať pri riešení problémov spojených so zmenou klímy a prispievať k dosahovaniu miléniových rozvojových cieľov.

Ivan Garčár, hovorca SHMÚ



PERSONÁLIE

PERSONALS

RNDr. JOZEF ILKO, CSc. OSEMDESIATNIKOM

Dr. Jozef Ilko sa narodil 28. februára 1939 v Lastovciach v okrese Trebišov, kde žil až do maturity. V roku 1956 začal študovať na Univerzite Komenského v Bratislave matematiku a fyziku a od 4. ročníka odbor meteorológia a klimatológia. Po ukončení štúdia nastúpil 1. júla 1961 do služieb HMÚ na pozíciu meteorológa v smenovej prevádzke na letisku v Bratislave. Po mesiaci začal na tomto letisku vykonávať základnú vojenskú službu ako vojenský letecký meteorológ a po jej skončení pokračoval vo vedľajšej budove v civilnej službe. V roku 1964 odišiel na letisko Sliač, kde zastával post vedúceho krajskej meteorologickej služobne až do roku 1976. V roku 1967 získal titul doktora prírodovedy na Univerzite J. E. Purkyně v Brne. V rokoch 1970 až 1976 absolvoval externú vedeckú aspirantúru na Univerzite Karlovej v Prahe so zameraním na numerickú meteorológiu a využitie počítačov, pričom získal vedeckú hodnosť kandidát fyzikálno-matematických vied.

V roku 1976 sa stal Dr. Ilko vedúcim Útvary výskumu synoptickej a leteckej meteorológie SHMÚ. V rámci tejto funkcie bol členom medzinárodnej výskumnej skupiny socialistických štátov, ktorá bola zameraná na novú metodiku pre dlhodobú predpoveď počasia. Zúčastnil sa na pracovných stretnutiach skupiny a na exkurziach po meteorologických pracoviskách v Moskve, Varšave, Sofii a Budapešti. Od roku 1983 do roku 1994 bol vedúcim Odboru predpovedí počasia. Neskôr pracoval v tomto odbore ako meteorológ - špecialista, so zameraním najmä na mesačnú predpoveď počasia. K 31. 3. 2001 ukončil pracovný pomer na Slovenskom hydrometeorologickom ústave.

Dr. Ilko je od roku 1964 členom Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV. Bol dlhší čas členom redakčnej rady nášho periodika Meteorologický časopis a členom redakčnej rady Meteorologických zpráv. V rokoch 1981 až 1988 bol zástupcom Československa v pracovnej skupine pre globálny systém pozorovaní (GOS) pri Svetovej meteorologickej organizácii. Na jej zasadaní

v decembri 1984 v Ženeve bol zaradený aj do užšej pracovnej skupiny pre príručky a kódy a zúčastnil sa na jej pracovnom zasadaní v sídle WMO v roku 1986.

Vo svojich odborných prácach sa jubilant venoval aplikácii numerických predpovedných metód v synoptickej a leteckej meteorológii, automatizácii spracovania údajov a hodnoteniu kvality predpovedí počasia. Vypracoval niekoľko počítačových programov pre štatistický výskum ale aj pre kreslenie synoptických máp pomocou digigrafu, čo nahradilo namáhavú prácu kresličiek. V tejto oblasti mal prijatých 5 zlepšovacích návrhov. Z ďalších oblastí, v ktorých pracoval, spomeňme aspoň spracovanie rôznych klimatických charakteristík a vzájomných vzťahov, ako závislosť denného chodu teploty od oblačnosti a vetra, klimatické charakteristiky vzduchových hmôt, dlhodobé zmeny teploty vo vzťahu k slnečnej aktivite, aeroklimatické charakteristiky, analýza periodičnosti dlhodobých časových radov, atď. Jeho práce vychádzali najmä v Meteorologických zprávach, ale aj v zborníkoch prác HMÚ, zborníkoch zo seminárov, a v účelových publikáciách doma i v zahraničí.

V roku 1990 vydal populárnu knižku Minilexikon meteorológie, neskôr preloženú do poľštiny. So spisovateľom Jánom Čomajom spolupracoval na vydaní vlastnej biografie, ktorá vo vydavateľstve IKAR vyšla v decembri 2010 pod titulom S počasím si tykám. Slovenská knižnica pre nevidiacich Mateja Hrebendu v Levoči vydala obsah tejto knižky pre nevidiacich na zvukovom nosiči.

Už v začiatkoch praxe začal jubilant spolupracovať s rozhlasom a tlačenými médiami, pričom prvý populárny článok uverejnil počas základnej vojenskej služby v roku 1962. V Slovenskom rozhlase, aj na vlnách Rock FM rádia to boli, celých 44 rokov, živé pravidelné aj nepravidelné rozhovory o aktuálnom počasi aj na vedecko-populárne témy (1966–2010). S predpoveďou počasia vstupoval pravidelne do vysielania Rádia EXPRES v rokoch 2000–2010.

V roku 1982 začal spolupracovať so Slovenskou televíziou rozhovormi vo večerných aktualitách a spolupracou na novom scenári večernej relácie Predpoveď počasia.

Večernú reláciu pripravoval a prezentoval potom pravidelne až do príchodu rosníček v roku 1995 ale víkendové relácie prezentoval krátko ešte aj v roku 1997.

V čase keď generálny tajomník Svetovej meteorologickej organizácie vo svojom posolstve odobril možnosť vydávania predpovedí počasia na 10 dní, začal ich pripravovať pre rôznych záujemcov nielen pre územie Slovenska ale vďaka Internetu aj pre rôzne zahraničné destinácie. Od roku 1999 pravidelne prezentuje tieto predpovede v štylizovanej forme aj vo vysielaní súkromnej televízie.

Za svoju prácu získal niekoľko ocenení. Minister mu udelil ocenenie „Zaslúžilý pracovník lesného a vodného hospodárstva“ a riaditeľ SHMÚ Striebornú medailu za zásluhy o rozvoj hydrológie a meteorológie. Za aktivity vo svojom profesijnom odbore v seniorskom veku dostal od primátora Bratislavy plaketu Senior roka 2018 a v apríli 2005 ďakovný list od predsedu vlády Mikuláša Dzurindu, za predpovede k jeho cestám a aktivitám najmä v cudzine.

Dr. Jozef Il'ko je náš najznámejší meteorológ, a i napriek pokročilému veku je stále pracovne aktívny. Jeho meno je symbolom odbornosti a propagácie meteorológie v širokej verejnosti.

Pri príležitosti životného jubilea prajeme jubilantovi do ďalších rokov pevné zdravie a veľa spokojnosti.

*Norbert Polčák
SHMÚ, Bratislava*

ŽIVOTNÉ JUBILEUM RNDr. LADISLAVA DULOVICA

RNDr. Ladislav Dulovič sa narodil v Cíferi 29. 5. 1934. Stredoškolské vzdelanie nadobudol na gymnáziu v Trnave, kde v roku 1952 aj maturoval. Po prijímacích skúškach na Prírodovedeckú fakultu UK bol prijatý na kombináciu biológie-geológie-zemepis. Politicky motivovanou reorganizáciou sa z PF UK oddelila Fakulta geologicko-geografických vied, kam prešla aj kombinácia biológie-geológie-zemepis. Na tejto fakulte bola od roku 1954 otvorená aj špecializácia hydrológia-klimatológia, zrejme s úmyslom, aby jej absolventi boli cielene pripravovaní na činnosti v práve sa formujúcom Hydrometeorologickom ústave (HMÚ).

Na HMÚ absolvoval povinnú mesačnú prax v auguste 1954 a dobrovoľnú brigádu cez prázdniny v roku 1956. Vtedy nadobudol presvedčenie, že toto je povolanie, ktoré ho bude naplňovať. V septembri 1956 bol prijatý na čiastočný úväzok na Oddelenie povrchových vôd. Po absolvovaní štúdií v roku 1957 bol prijatý do trvalého pracovného pomeru.

Ako milovník prírody sa v povolaní hydrologa „našiel“. Neboli mu prekážkou „štrapácie“ spojené s neustálym cestovaním, takmer výlučne verejnými dopravnými prostriedkami, ale najčastejšie pešo, pozdĺž potokov a riek, za vyhľadávaním vhodných profilov pre nové stanice alebo meranie prietokov. Pešie túry priniesli zisk v podobe lepšieho a dôkladnejšieho poznania fyzicko-geografických pomerov jednotlivých povodí.

Po odchode p. Mlejníka do dôchodku v roku 1959 bol Dr. Ladislav Dulovič poverený vedením Oddelenia povrchových vôd s celoslovenskou pôsobnosťou. Sieť pozor-

ovacích staníc v tom čase bola síce rozsiahla (viac ako 700 staníc), ale nesystémová, lebo historicky vznikala v pôsobnosti rôznych rezortov (energetika, poľnohospodárstvo, lesné hospodárstvo a doprava). Registračnými prístrojmi (limnigrafmi) bolo vybavených len 5 % (napr. na celom našom 172 km úseku Dunaja bol iba jediný limnigraf v Bratislave z roku 1925). Aj prístroje na meranie prietokov boli zastarané a na meranie prietokov v horných častiach tokov nevhodné. Taktiež chýbali ťažké vrtule na meranie povodňových prietokov, najmä na Dunaji a iných veľkých riekach Slovenska.

Systematickou prácou, veľkým úsilím spolupracovníkov ako aj ústretovosťou vedenia úseku hydrológie pri získavaní finančných prostriedkov (najmä devíz) sa podarilo v priebehu desiatich rokov dostať kvalitu staničnej siete i prístrojového vybavenia na úroveň porovnateľnú s vyspelými hydrologickými službami v strednej Európe.

Dr. Ladislav Dulovič bol aktívny aj v kontaktoch s hydrologickými službami susedných krajín, najmä Rakúska a Maďarska. Z jeho iniciatívy vznikli pracovné skupiny pre hydrologické otázky na hraničných vodách pri jednotlivých Komisiách pre hraničné vody, ktorých experti mali poverenie vykonávať spoločné merania prietokov a zosulďovať prietoky na hraničných vodách v ročnom cykle ako aj parametre opakovania extrémnych prietokov.

Dr. Ladislav Dulovič má zásluhu na vybudovaní podrobnej pozorovacej siete v experimentálnom povodí Belej, nielen na všetkých prítokoch Belej, ale aj zrážkomerov – totalizátorov, v každej doline povodia.

V rokoch 1972–1979 organizoval merania vodnej hodnoty snehu expedičným spôsobom vo všetkých dolinách povodia Belej. Výsledky týchto meraní prezentoval ako účastník kurzu o horskej hydrológii, ktorý sa konal v roku 1977 na Lomonosovovej univerzite v Moskve, pod záštitou UNESCO.

Zaslúžil sa taktiež o vybudovanie pozorovacej siete na kanáloch Žitného ostrova, kde dovtedy štátny inštitút žiadne pozorovania ani merania nevykonával. Získané údaje poslúžili ako podklad pre projekciu objektov Vodného diela Gabčíkovo.

Vďaka jeho jazykovej vybavenosti bol Dr. Ladislav Dulovič, najprv sporadicky, a neskôr permanentne prizývaný na rokovania rôznych medzishátnych grémií: Československo - rakúska komisia pre hraničné vody a Československo - rakúska hraničná komisia, ďalej Československo - maďarská pracovná skupina pre Dunaj, zasadnutia Technickej skupiny pri Dunajskej komisii. V Československo - rakúskej komisii pôsobil nielen ako expert pre hydrologické otázky, ale v rokoch 1981 až 1983 aj ako oficiálny tlmočník československej, resp. slovenskej delegácie.

Na ústave bol známy aktivovaním spolupracovníkov, aby sa zúčastňovali každoročného futbalového turnaja vodohospodárov o pohár ministra. Štyri víťazné poháre z takýchto turnajov zdobili vitrínu námestníka pre hydrológiu, Ing. Malého.

Dr. Ladislav Dulovič sa vo voľnom čase venoval turistike, najmä vysokohorskej, ale nepohrdol ani poznávacími zájazdmi doma či v zahraničí.

*Blahová Alena
SHMÚ, Bratislava*

JUBILANT RNDr. PAVOL FAŠKO, CSc.

V dobrom zdraví, osobnej i pracovnej pohode, náš kolega a priateľ, RNDr. Pavel Faško, CSc. v apríli tohto roku, oslávil svoje životné jubileum – 60 rokov. Náš jubilant sa narodil v Trnave. Stredoškolské vzdelanie získal na gymnázium v Galante v roku 1978. Vysokoškolské štúdiá ukončil na Prírodovedeckej fakulte Masarykovej univerzity, a to na katedre fyzickej geografie a kartografie, v roku 1983, kde neskôr získal aj doktorát v špecializácii orientovanej na klimatológiu. Na tejto škole úspešne obhájil aj svoju kandidátsku prácu po skončení doktorandského štúdia v rokoch 1987–1992. Vedecko-kvalifikačný stupeň II. a získal v roku 2002.

Ako čerstvý absolvent, Dr. Faško nastúpil do zamestnania na úsek klimatológie SHMÚ, v Bratislave na Kolibe. V tom čase na klimatológii aktívne pôsobili členovia zakladateľskej generácie slovenskej klimatológie – Dr. Petrovič, Dr. Valovič, Dr. Šoltis, ako aj skúsení praktici v oblasti zrážkomerných údajov, bratia Slezákovci. Ich prístup k riešeniu problémov, kolegiálna spolupráca a vysoká profesionalita boli vnímané a osvojované aj mladým absolventom. Dôležitou súčasťou ich vedeckej práce bolo dôsledné sledovanie kvality dát, temer fyzické ohmatanie si každého údajov vstupujúceho do vedeckej práce, až po jej zverejnenie v tabuľke, grafe, či mape. Zároveň začal spolupracovať, či už v rámci podnikových, alebo rezortných výskumných úloh, s novonastupujúcou generáciou klimatológov, Dr. Lapinom, Dr. Nieplovou a inými, ktorí začali využívať nastupujúcu výpočtovú techniku.

Jubilant, ako vedecko-výskumný pracovník na odbore klimatológie, sa vo svojej vedeckej a odbornej činnosti venoval a venuje najmä atmosférickým zrážkam a snehovej pokrývke. Jeho záujem postupne pokrýval širokú paletu problematiky, cez výpočty časovo-priestorových závislostí, štatistické spracovania, riešenie závislostí na geografických a cirkulačných pomeroch. Práce, najmä na štatistických charakteristikách zrážok a snehovej pokrývky, si vyžadovali prípravu údajov z časovej osi siahajúcej ďaleko pred údaje v elektronickej databáze, vrátane ich náročnej kontroly a validácie. Bol zapojený do mnohých výskumných úloh, neskôr projektov, v ktorých uplatnil svoje znalosti nielen v „svojej“ problematike, ale aj v oblasti metadát, cirkulačných a terénnych vplyvov na údajovú základňu zrážok a snehu. K výskumnej činnosti sa pridružovala náročná posudková a expertízna agenda, spolupráca s hydrologickou komunitou na problematike bilancie vody v krajine, a v neposlednom rade jeho normotvorná a metodická činnosť. Zúčastňoval sa riešenia mnohých etáp úlohy Národný klimatický program, bol členom autorského kolektívu diela Klimatický atlas Slovenska. Je členom Slovenskej meteorologickej spoločnosti a Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti. Jeho publikačná činnosť je bohatá, figuruje v nej veľké množstvo vedeckých a odborných článkov, vrátane monografií. Aktívne sa zúčastňuje mnohých odborných konferencií doma i v zahraničí. Svoje skúsenosti odovzdáva nielen svojim kolegom, ale aj ako školiteľ, konzultant a oponent diplomových a bakalárskych prác. S veľkým zanietením, no aj trpezlivosťou sa venuje

propagácii činností ústavu, v prednáškovej činnosti najmä pre školy. Aktívne komunikuje s médiami o aktuálnom dianí v klimatickom systéme, pričom využíva svoju obdivuhodnú pamäť. K jeho koníčkam patrí cestovanie, najmä vlakom. Má tiež rád svoju ovocnú záhradu v Dolných Salibách. Je platným a inšpiratívnym členom odborných a riešiteľských tímov.

V mene slovenskej meteorologickej komunity prajeme nášmu jubilantovi najmä dobré a pevné zdravie, spokojnosť v práci i osobnom živote a mnoho tvorivých rokov v oblasti klimatológie.

*Pavel Šťastný
SHMÚ, Bratislava*

SPOMÍNAME...

Toho roku uplynie 85 rokov od narodenia dvoch významných pracovníkov Slovenského hydrometeorologického ústavu – Ing. Štefana Podolinského a RNDr. Ivana Panenku. Bohužiaľ už nie sú medzi nami.

Ing. Štefan Podolinský (26. 4. 1934 – 22. 10. 1998)

Bol zakladateľom a budovateľom moderného hydrologického pracoviska v Banskej Bystrici. Rozvoj praktickej a experimentálnej hydrologie na strednom Slovensku sa vždy bude spájať s jeho menom. Z jeho mimoriadneho vkladu pre ústav spomenieme len zopár najvýznamnejších výsledkov: vybudoval moderné a personálne kvalitne obsadené pracovisko v Banskej Bystrici, zaslúžil sa o dobre fungujúcu sieť pre sledovanie kvantity vodných zdrojov, vybudoval reprezentatívne hydrologické povodie na Čiernom Hrone, ktoré slúžilo na sledovanie režimu a vývoja odtoku v temer panenskej prírode. Ing. Podolinský bol veľmi talentovaný organizátor, neúnavný propagátor hydrologickej profesie, výborný a erudovaný odborník aj praktický hydroológ. Mal rád ľudí, mal rád vodu, miloval Pohronie. Bol to veľký človek s veľkým srdcom.

RNDr. Ivan Panenka (10. 5. 1934 – 26. 3. 2013)

Vyštudovaný vojenský meteorológ bol vedúcim Hlavného poveternostného ústredia Československej armády. Po roku 1968 armádu opustil a vrátil sa na Slovensko do civilnej služby Slovenského hydrometeorologického ústavu. Spočiatku pôsobil v synoptickej službe, potom prešiel do hydrologickej predpovednej služby a neskôr bol námestníkom riaditeľa pre meteorológiu. Bol jedným z prvých meteorológov, ktorý tvoril meteorologické predpovede pre priame využitie v hydrologickej predpovednej službe. V oblasti výskumu sa venoval hydrosynoptickým javom, problematike výškového vetra a vplyvu orografie na prúdenie vzduchu, hydrologickej kategorizácii synoptických situácií pre strednú Európu a Slovensko, ktorá sa využívala najmä v hydroprognózne praxi. Bol výraznou osobnosťou SHMÚ, bol všestranným človekom s množstvom záujmov, aktivít a kontaktov, mal hlboký vzťah nielen k svojej profesii, ale aj k výtvarnému umeniu a ku knihám.

*Ol'ga Majerčáková
SHMÚ, Bratislava*

NEDOŽITÝCH 75 ROKOV RNDr. MARIÁNA WOLEKA

Dňa 1. mája 2019 si pripomíname nedožitých 75 rokov nášho dlhoročného priateľa a kolegu RNDr. Mariána Woleka. Mariána som spoznala pri svojom nástupe na SHMÚ, na pracovisko na Malom Javorníku, v roku 1978. Práve sa vrátil z vojenských manévrov a onedlho sa zúčastnil na experimente MONZÚN, ktorý organizovala SMO v Indickom oceáne. Mala som veľké šťastie, že som sa dostala do kolektívu, ktorý bol vedený práve Mariánom. Svojím zápalom pre prácu strhával aj všetkých ostatných. Dodnes ho vidím na parkovisku na Malom Javorníku, oblečeného v tepláčkoch s neodmysliteľnou cigaretou v ruke, ako čakal na nás ostatných a išiel príkladom pri rôznych brigádnických prácach. Vedel sa postaviť ku každej. Bol vynikajúcim organizátorom, či už brigád a športových ale aj spoločenských podujatí, ktoré sa zakončili večerom pri víne a gulášom, ktorý navaril práve Marián. Veľakrát sme sa zúčastnili na celoštátnych poradách o problémoch čsl. rádiolokačnej a družicovej meteorológie, ktoré sa organizovali spoločne s odborníkmi ČHMÚ a HPÚ. Tu sa prejavil Mariánov športový duch a vždy nás vytiahol na túru, či už na Poľanu alebo na Kojšovskú hoľu, kde nám predstavil nový rádiolokačný bod na Slovensku, ktorý sa mu podarilo aj úspešne vybudovať. Bol veľmi spoločenský a vždy okolo seba šíril dobrú náladu a pohodu.

Pod jeho vedením sa vybuďovala družicová meteorológia na Slovensku, ktorej sa začal venovať od svojho

nástupu na SHMÚ v roku 1967. Stál pri budovaní moderného pracoviska rádiolokačnej a družicovej meteorológie na Malom Javorníku a neskôr významne prispel k modernizácii technológií a automatizácii meraní. Odborne sa podieľal na riešení projektov v rámci programu INTERKOZMOS a svoje vedomosti odovzdával aj nastupujúcim generáciám meteorológov, ktorým prednášal družicovú meteorológiu na Univerzite Komenského v Bratislave. Mohli sme ho vidieť medzi prvými meteorológmi na televíznej obrazovke pri predpovedaní počasia. Jeho zásluhou sa vybudovali a zrekonštruovali letecké meteorologické stanice Nitra, Lučenec, Prievidza, Košice, Bratislava a Kamenica nad Cirochou. Jeho odborné znalosti a organizačné schopnosti a vynikajúca povaha ho predurčili do vedúcich pozícií SHMÚ a od roku 1993 do funkcie námestníka riaditeľa ČHMÚ pre meteorológiu a klimatológiu, kde sa po dvoch mesiacoch stal štatutárnym zástupcom riaditeľa ústavu. Významne sa pričínal o vybudovanie dvoch rádiolokačných bodov ČR Skalky v Drahanskej vrchovine a Praha v Brdskej vrchovine, meteorologickej stanice v Chebe a leteckej meteorologickej stanice v Liberci. Jeho pričinením sa vytvorilo stredoeurópske pracovisko RC LACE v Prahe, a aj veľmi úzka spolupráca ČHMÚ a SHMÚ.

Ďalšia odborná činnosť Mariána Woleka bola náhle prerušená v roku 2002 jeho smrťou. Stratili sme dobrého odborníka a kolegu, ale hlavne dobrého kamaráta.

Spomíname s úctou.

*Dagmar Merclová
SHMÚ, Bratislava*

POKYNY PRE AUTOROV

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

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

na e-mailovú adresu norbert.polcak@shmu.sk
a kópiu na adresu katarina.pukancikova@shmu.sk

alebo

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

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

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

e-mail address norbert.polcak@shmu.sk
and copy to katarina.pukancikova@shmu.sk

or

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



© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 2019
ISSN 1335-339X