

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2018
Ročník 21 – Číslo 2
VOLUME 21 – NUMBER 2

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

DIFFERENCES BETWEEN MEASURED AND MODELLED GEOPOTENTIAL HEIGHTS AT THE POPRAD-GÁNOVCE UPPER-AIR STATION	
Anna Pribullová, Jozef Depta	71
MULTIRESOLUTION TIME-FREQUENCY ANALYSES OF WIND SPEED AND WIND DIRECTION DATA	
Milan Onderka, Vladimír Chudoba, Marcela Morovová, Martin Gera	81
THE AUSTRIAN UV-MONITORING NETWORK	
Mario Blumthaler, Barbara Klotz, Michael Schwarzmüller, Josef Schreder.....	89
THE EVALUATION OF CLIMATE CONTINENTALITY IN RELATION TO RADIATION FACTORS	
Miriam Janušková	93
WARM AND COOL SPELLS IN SLOVAKIA, 1951 – 2017, IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE	
Dalibor Výberčí, Jozef Pecho, Pavol Faško, Oliver Bochníček.....	101
TORNADO IN LEKÁROVCE, OCTOBER 3, 2018	
Miroslav Šinger.....	109

INFORMATION

Cooperation of the Hydrological forecasting service with Meteorological and Synoptical services during the flood in the Bodrog catchment in December 2017	
Danica Lešková, Dorota Simonová	117
Climate and phenological assessment in spring 2018	
Peter Kajaba, Pavel Faško, Lívia Labudová, Zora Snopková, Viera Jakubíková, Alena Vinceová	121
Anniversary of the Aerological and Solar Radiation Centre Poprad-Gánovce	
Anna Pribullová	125
Conference of European Meteorological Society	
Katarína Mikulová.....	126
International Danube Day	
Ivan Garčár	127
National Reporting Network on Drought Impacts within the DriDanube Project	
Pavel Šťastný, Lívia Labudová	127
Stakeholders discussion forum of International Scientific Conference ICOS	
Janka Szemesová	128
Annual workshop of Czech Meteorological Society	
Paulína Valová	128
Young scientist conferences on SHMÚ	
Alena Blahová, Danica Lešková	129

PERSONALS

131

OBSAH

ROZDIELY MEDZI MERANÝMI A MODELOVANÝMI GEOPOTENCIÁLNYMI VÝŠKAMI NA AEROLOGICKEJ STANICI POPRAD-GÁNOVCE	
Anna Pribullová, Jozef Depta	71
VIACÚROVŇOVÁ ČASOVО-FREKVENČNÁ ANALÝZA RÝCHLOSTI A SMERU VETRA	
Milan Onderka, Vladimír Chudoba, Marcela Morovová, Martin Gera	81
RAKÚSKA SIEŤ NA MONITOROVANIE UV ŽIARENIA	
Mario Blumthaler, Barbara Klotz, Michael Schwarzmüller, Josef Schreder	89
HODNOTENIE KONTINENTALITY PODNEBIA VO VZĽAHU K RADIAČNÝM FAKTOROM	
Miriam Janušková	93
TEPLÉ A CHLADNÉ OBDOBIA NA SLOVENSKU (1951 – 2017) V KONTEXTE KLIMATICKEJ ZMENY	
Dalibor Výberčí, Jozef Pecho, Pavol Faško, Oliver Bochníček.....	101
TORNÁDO V LEKÁROVCIACH 3. OKTÓBRA 2018	
Miroslav Šinger	109

INFORMÁCIE

Súčinnosť hydroprognóznej služby s meteorologickou a synoptickou službou počas povodne v povodí Bodružala v decembri 2017	
Danica Lešková, Dorota Simonová.....	117
Klimatologické a fenologické zhodnotenie jari 2018	
Peter Kajaba, Pavel Faško, Lívia Labudová, Zora Snopková, Viera Jakubíková, Alena Vinceová	121
Jubileum Aerologického a radiačného centra SHMÚ v Poprade-Gánovciach	
Anna Pribullová	125
Konferencia Európskej meteorologickej spoločnosti	
Katarína Mikulová.....	126
Medzinárodný deň Dunaja	
Ivan Garčár	127
Národná sieť spravodajstva o dôsledkoch sucha v rámci projektu DriDanube	
Pavel Šťastný, Lívia Labudová	127
Diskusné fórum zainteresovaných účastníkov Medzinárodnej vedeckej konferencie ICOS	
Janka Szemesová	128
Výročný seminár Českej meteorologickej spoločnosti	
Paulína Valová	128
Konferencie mladých odborníkov na pôde SHMÚ	
Alena Blahová, Danica Lešková	129
PERSONÁLIE	131

DIFFERENCES BETWEEN MEASURED AND MODELLED GEOPOTENTIAL HEIGHTS AT THE POPRAD-GÁNOVCE UPPER-AIR STATION

ANNA PRIBULLOVÁ, JOZEF DEPTA

Aerological and Solar Radiation Centre SHMÚ, 058 01 Poprad-Gánovce

The geopotential height has been calculated from the measured air pressure since 1992 at the only upper-air station of the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMU) Poprad-Gánovce. During last few years, manufacturers introduced new types of radiosondes which were not equipped with the pressure sensor and which enabled determination of the geopotential height only from the GPS system. They can replace the radiosondes equipped with the pressure sensor in the near future. The subject of this study was evaluation of differences between the geopotential height determined from the GPS system and from the atmospheric pressure measurements at standard pressure levels (SPL) during one-year long period from November 2016 to October 2017. The geopotential heights from the upper-air measurements with the radiosonde RS92 SGP and the new type RS41 SGP were compared with modelled ones using outputs of two Numerical Weather Prediction Models ALADIN of the Slovak (NWPM ALADIN SHMU) and the Czech (NWPM ALADIN CHMI) meteorological services.

The differences between geopotential heights from the GPS measured by the radiosonde RS92 SGP and from the NWPM increased with altitude and exceeded 100 geopotential meters (gpm) at the highest SPL. For the new radiosonde RS41 SGP launched during two approximately one month long periods, the geopotential heights from the GPS fitted the values modelled by the NWPM ALADIN SHMU at the SPL above the 100 hPa level better (bias less than 11 gpm) than by the model of the CHMI. The geopotential heights modelled by the NWPM ALADIN SHMU (the analysis and 6h forecast) systematically exceeded the measured values calculated from the air pressure (for both radiosondes RS41 SGP and RS 92 SGP) and from the GPS (radiosonde RS41 SGP) in layer from about 500 to 70 hPa. Similar bias was detected for older and new version of the NWPM ALADIN SHMU. The CHMI model fitted the measured geopotential height well up to 50 hPa level but underestimation of modelled values increased rapidly with altitude above this SPL. The NWPM analyses and 6h forecasts manifested very similar differences from measurements and hence the short-term forecasts can be used for the aerological measurement quality control instead of the analysis.

Na jedinej aerologickej stanici Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) v Poprade-Gánovciach je geopotenciálna výška tlakových hladín počítaná z meraných hodnôt tlaku vzduchu od roku 1992. V posledných rokoch boli na trhu uvedené rádiosondy bez senzora tlaku vzduchu, ktoré umožňujú určovanie geopotenciálnej výšky iba pomocou GPS. V blízkej budúcnosti môžu nahradíť rádiosondy s tlakovým senzorom. Cieľom štúdia bolo vyhodnotenie rozdielov medzi geopotenciálnou výškou štandardných tlakových hladín (SPL) vypočítanou pomocou meraného tlaku vzduchu a GPS za ročné obdobie od novembra 2016 do októbra 2017. Geopotenciálne výšky určené z aerologickej merania pomocou rádiosond RS92 SGP a novším typom RS41 SGP boli porovnané aj s výstupmi numerických predpovedných modelov počasia (NWPM) slovenskej ALADIN (SHMÚ) a českéj meteorologickej služby (ČHMÚ). Rozdiely medzi geopotenciálnymi výškami určenými pomocou GPS a výstupmi numerických predpovedných modelov s výškou rastli a na najvyšších SPL dosahovali stovky geopotenciálnych metrov (gpm) pri rádiosonde RS92 SGP. Počas dvoch mesačných períód, kedy sa používal nový typ rádiosondy RS41 SGP, však boli nad SPL 100 hPa rozdiely medzi geopotenciálnymi výškami určenými pomocou GPS a NWPM výrazne menšie a porovnatelné s rozdielmi pre geopotenciálne výšky určené z tlaku vzduchu. Pre NWPM SHMÚ boli menšie (priemerný rozdiel menší ako 11 gpm) ako pre NWPM ČHMÚ.

Geopotenciálne výšky z analýzy aj predpovede NWPM ALADIN SHMÚ boli systematicky vyššie ako hodnoty vypočítané z meraného tlaku vzduchu (rádiosondy RS92 SGP, RS41 SGP) a pomocou GPS (rádiosonda RS41) vo vrstve vzduchu medzi SPL 500 hPa a 70 hPa. Geopotenciálne výšky z modelu ČHMÚ fitovali merané hodnoty dobre po hladinu 50 hPa, vyššie sa podhadnotenie modelových hodnôt oproti meraným zvýrazňovalo. Rozdiely medzi meraním a výstupmi analýzy aj krátkodobej predpovede NWPM boli veľmi podobné, preto môže byť krátkodobá predpoved používaná na kontrolu kvality aerologickej merania počas aerologickej výstupu namiesto analýzy NWPM.

Key words: *upper-air measurements, geopotential height, GPS, numerical weather prediction model, radiosonde, standard pressure level*

INTRODUCTION

Changes in the method of geopotential altitude determination influence vertical profiles of all measured upper-air parameters and can affect homogeneity of measured element time series in the upper atmospheric levels.

Regular upper-air measurement quality control provides important feedback for the measurement provider and the data user. Centres for numerical weather forecast belong to the most important users of data from upper atmospheric levels. The lead centres of the global NWPM provide comparisons between selected measured upper-air characteristics and short-range numerical weather forecasts (+3h or +6h). The geopotential height and temperature at selected standard pressure levels are the most frequently monitored parameters. The aim of this monitoring is to detect particular low quality radiosonde measurements and the long-term changes in the upper air quality data at monitored upper-air stations. The global long-term analysis of differences between numerical model prediction and measurement also enables monitoring of the numerical prediction model quality changes.

After the last WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems in Yangjiang in 2010, criteria for good upper air geopotential altitude measurement were set (Tab. 1).

Table 1. WMO criteria for optimal uncertainty and maximal uncertainty (threshold) accepted for good geopotential and air pressure aerological measurement at selected altitudes (WMO, 2014 – updated in 2017).

Geopotential height [gpm]						
altitude [km]	1	5	10	16	20	32
optimum	20	20	20	40	40	60
threshold	30	40	60	120	200	240
Air pressure [hPa]						
altitude [km]	1	10	16	24	32	
optimum	2	1	0.6	0.2	0.1	
threshold	3	3	2	1	0.4	

The central aerological observatory (CAO) of the WMO in St. Petersburg provides also some upper-air measurement quality characteristics, including differences between measurements, short-range forecast, and their standard deviation from the outputs of the numerical weather prediction model developed at the European Centre of medium range forecast in Reading (ECMWF). The evaluations (http://cao-ntcr.mipt.ru/all_doc/c4/index.htm) of upper-air measurements from the whole world have been available on monthly and quarterly base with delay of more than one year.

The European meteorological services network EUMETNET in the frame of the EUCOS (the EUMETNET Composite Observing system <https://eucos.dwd.de/qmp/#SurfaceStationsSelectionPlace:%7B%67D>) programme and the WMO GCOS (Global Composite Observing System <https://www.ncdc.noaa.gov/gosic/gcos-essential-climate-variable-ecv-data-access-matrix/gcos-upper-air-network-guan-non-guan-stations-upper-air-height-inventories>) pro-

gramme present more actual evaluation of some upper-air measurement quality characteristics on-line. However, these statistics are available several days after the aerological measurement.

The day-to-day variability in geopotential heights above 100 hPa level is usually very small (besides some winter weather situations). The geopotential height significantly different from the previous measurement indicates low quality of the data. One possibility for the upper-air quality data checking during the radiosonde ascent or immediately after the sounding had finished are comparisons of measured data with time series of geopotential height at higher altitudes. The control of the day-to-day changes in time series of measured geopotential heights at 500, 200, 100 and 30 hPa standard pressure levels (SPL) has been, for a long time, the only data quality indicator during the radiosonde ascent at the upper-air station of the SHMU at Poprad-Gánovce (49.03 N, 20.32 E, 703 m a.s.l.).

Measurement comparison with the NWPM forecast can be the next tool for aerological measurement quality control during the radiosonde ascent. Comparison between the measurement and the NWPM ALADIN SHMU analysis results was performed about three hours after the end of the upper-air measurement. Differences between the measured upper-air parameters and the NWPM ALADIN SHMU analysis results showed systematically higher modelled SPL geopotential altitudes in layers ranging from the middle troposphere to the low stratosphere (the bias exceeded 10 gpm near the 100 hPa SPL). As the NWPM output does not represent absolute reference for upper-air measurement quality control, it was not clear whether the bias was related to the upper-air measurement problem (e.g. to wrong pressure measurement) or to the NWPM uncertainty. That was the reason why upper-air measurements started to be compared also with analysis of the NWPM ALADIN of the Czech hydrometeorological institute (CHMI) in 2016. In 2017, following the WMO (Nash et al., 2011) recommendations, it was decided that comparison between measured values and the short-term predictions of the NWPM instead of analysis could improve the upper-air data quality control. The main reason for this decision was availability of the local short-term forecast during the radiosonde ascent. It was also expected that predicted parameters would be less influenced by possibly wrong upper-air measurements than by the NWPM analysis and bias between the forecast and the measurement will be smaller. The 6h forecast of the NWPM ALADIN CHMI was available since November 2016. New version of the SHMU numerical prediction model with higher horizontal and vertical resolution (Derková et al., 2017) was introduced in the operational practice in April 2017. The upper-air measurements have been compared with both the analyses and +6h forecasts of the NWPM ALADIN of the SHMU since that time.

The geopotential height of the radiosonde has been determined from the atmospheric pressure measurements since 1992 at the upper-air station Poprad-Gánovce. By this method, the geopotential height uncertainty at upper layers, where the air pressure changes with the altitude

very slowly, is bigger in comparison to levels nearby the surface. Though the Global Positioning System (GPS) has been used only for wind characteristics determination for the last operational radiosonde RS92 SGP, the new operational system Vaisala MW41 enabled also calculation of the geopotential height based on the GPS position measurements. Finishing of the RS92 radiosondes manufacturing was announced for the end of 2017. Manufacturers presented new types of radiosondes which did not contain air pressure sensor. The weight of the new radiosonde RS41 SG is about 50% of the RS92 SGP radiosonde. The geopotential height is calculated using only the known geometric altitude measured by the GPS system by the new radiosondes RS41 SG (Tab. 1). Atmospheric pressure is derived from the hydrostatic equation. Its vertical profile is calculated gradually from the known surface air pressure to the upper sounding point utilizing the known geopotential altitudes and measured air temperature and humidity. The uncertainty in geopotential height is expected to be uniform in all the vertical profile by this method and significantly reduced in upper layers in comparison to geopotential heights determined from the air pressure measurements (Tab. 1).

Small number (about 50) of the new type radiosondes without pressure sensor RS41 SG were launched at Poprad-Gánovce in 2016. Geopotential heights determined from the GPS measurements were consistent with time series of this parameter calculated from the air pressure measurements performed by the RS92 SGP radiosondes. However, differences between geopotential heights calculated from the air pressure and from the GPS showed unexpected biases which reached hundreds of gpm at altitudes above the 100-hPa level by the RS92 SGP. Next 50 radiosondes of the new type equipped with the pressure sensor RS41 SGP were launched in 2017. The geopotential heights retrieved from the air pressure and from the GPS system fitted each other better in comparison to the radiosonde RS92 SGP.

The subject of this study was evaluation of upper-air geopotential height measurements at Poprad-Gánovce from November 2016 to October 2017 with respect to different NWPM outputs and different methods of the geopotential height calculations with following aims:

- to investigate differences between geopotential heights calculated from air pressure measurement and form the GPS for the older RS92 SGP and the new type of the radiosonde RS41 SGP,
- to compare measured geopotential heights with modelled ones using outputs of two different NWP models – the ALADIN of the SHMU and the CHMI – with aim to check differences in measurement bias,
- to investigate differences between measured geopotential height and the NWPM analysis and short-term forecast,
- to check possible changes in bias between measured and modelled geopotential heights after running of the new version of the NWPM ALADIN SHMU 4.0 in April 2017.

DATA AND METHODS

The upper air system MW41 with the operational unit SPS311G and the software MW41 versions 2.3.0 and 2.6.1 (since august 2017) of the VAISALA Company was operating at the Poprad-Gánovce upper-air station during the investigated period (Tab. 2). The system enabled sampling of measured aerological characteristics (atmospheric pressure, air temperature, air humidity, wind speed and direction) with frequency of 1 s. Besides the RS92 SGP radiosondes equipped with the pressure sensors, also 2 new radiosondes RS41 SG without the pressure sensor and 58 of the RS41 SGP radiosondes equipped with the pressure sensor were launched (Tab. 2) in the investigated period. Two upper-air measurements have been done per day – one in observational term 12 UTC and second one in the term 00 UTC. The radiosonde type, characteristics of the air pressure and geopotential height measurements and periods of particular radiosonde type launching are summarised in Table 2 together with uncertainties declared by manufacturer and measured during the last WMO International Radiosonde Intercomparison held in China (Nash et al., 2011).

The radiosondes RS92 SGP and RS41 SGP used in the investigated period enabled geopotential height determination from the measured air pressure and from the GPS. However, an ability to determine the geopotential height from the GPS was not explicitly declared by manufacturer for the radiosonde type RS92 SGP.

The geopotential heights determined from upper-air measurements were compared with results of two NWPM ALADIN SHMU and CHMI that outputs interpolated for the upper-air station coordinates and to the SPL were available for the whole period. Two versions of the NWPM ALADIN SHMU were used (Tab. 3). The first version of the ALADIN SHMU analysis data were used from November 2016 to March 2017 and the new model version 4.0 (Derková et al., 2017) analysis and +6h forecast data has been used as reference since April 2017. Both, the analysis and +6h forecast data of the NWPM ALADIN CHMI were at the disposal in the whole investigated period. Some differences between the CHMI and the SHMU forecast models, their issues and configurations are summarized in Table 3 using Termonia et al. (2018) and Derková et al. (2017).

The CHMI and SHMU models differed also by the data assimilation and initialization methods. Both versions of the SHMU model used upper-air spectral blending with CANARI surface assimilation scheme (Derková et al., 2017) and no initialisation. The CHMI model data assimilation method BLENDVAR which was used until May 2017 is described in Bučánek et al. (2015). Assimilated ground pressure from SYNOP messages, pressure, temperature, humidity and wind characteristics from the upper-air measurements TEMP, satellite wind observations AMV, wind observations from aeroplanes ADMAR and irradiance from the satellite METEOSAT-10 SEVIRI were used in the CHMI model (Bučánek et al., 2015; Mašek, 2018). Temperature and wind measurements from aeroplanes performed in the Czech Republic (MODE-s MAR) have been used in the CHMI model assimilation since May 2017 (Mašek, 2018).

Table 2. Review of radiosondes, time intervals of operation, air pressure sensor types, and pressure and geopotential height uncertainties declared by manufacturer and determined by the last 8th WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems Yangjiang, China, 12–31 July 2010.

Radiosonde	Time interval of operation	Pressure sensor	Pressure uncertainty declared by manufacturer	Pressure uncertainty from International radiosonde intercomparison (WMO, 2011)	Geopotential height uncertainty declared by manufacturer
RS92 SGP	11/2016–10/2017 besides intervals of RS41 usage	silicon capacitor	1080–100 hPa 100–3 hPa	1 hPa 0.3 hPa	<i>Measurement GPS</i> 850 hPa 1 hPa 1.6 hPa 100 hPa 0.6 hPa 0.4 hPa 10 hPa 0.4 hPa 0.05 hPa
RS 41 SG	4.5.2017, 20.5.2017	height and pressure are calculated from satellite ranging codes, combined with differential corrections from the MW41 operational unit	>100 hPa 100–10 hPa <10 hPa	1 hPa 0.3 hPa 0.04 hPa	
RS41 SGP	1.–12.11.2016, 12.5.–9.6.2017	silicon capacitor (the same as for RS92), height and pressure can be calculated from the GPS system as by the RS41SG radiosonde	>100 hPa <100 hPa	1 hPa 0.6 hPa	

Table 3. Selected characteristics of the NWPM used in the study taken from Termonia et al. (2018) and Derková et al. (2017).

NWPM-configuration	Horizontal resolution [km]	Domain size [grid points]	Number of vertical levels	Time step [s]	Version of ALADIN system	Coupled with regional model
SHMU ALADIN-alaro (version used till April 2017) (Derková et al., 2017)	9.00	320 x 288	37	400	CY36T1	ARPEGE
SHMU ALADIN-alaro (version used since April 2017) (Termonia et al., 2018)	4.50	576 x 625	63	180	CY36T1	ARPEGE
CHMI ALADIN-alaro (Termonia et al., 2018)	4.71	432 x 540	87	180	CY38T1	ARPEGE

The modelled data were interpolated to the SPL and the station coordinates by similar methods. Model outputs in GRIB format were interpolated to the SPL for the node with the station coordinates by the CHMI model (Motl, 2018). For the SHMU NWPM, the data were interpolated to the SPL by the FULLPOS interpolation for the node with the station coordinates (Derková, 2018).

The geopotential heights were investigated at standard pressure levels. For comparisons between geopotential heights determined from air pressure measurements and from the GPS, the geopotential altitudes of the SPL were calculated from edited data sampled with frequency of 1 s using the hydrostatic equation. The air pressure has been stored with one decimal place in the upper-air system output files. When there were several geopotential heights corresponding to the same SPL, especially in upper levels, the height corresponding to medium of these values was used as the SPL geopotential altitude.

The NWPM analysis and forecast data relate to the upper-air station coordinates and to the term of the upper-air measurements for all SPL levels. The SHMU model outputs have been sent to the upper-air station as text messages four times per day. Interpolation to the station coordinates was done by the NWPM providers.

The time of the radiosonde measurements differed from the time corresponding to the NWPM results for about 1.5–2.0 h at the upper levels. Seidel et al. (2011)

estimated the 50 percentile of differences between the time of the radiosonde launching and its position at the 850 hPa SPL to 0.06 h and at the 10 hPa SPL as much as 1.71 h.

Radiosonde drift - the distance between actual radiosonde geographical position and the station coordinates was not considered though the radiosonde geographical coordinates (latitude, longitude) are known from the GPS.

To consider radiosonde drift and radiosonde elapsed time, results of the NWPM presented for nearly the whole domain at all SPL would be needed during the radiosonde launching time interval. The radiosonde drift is not of great concern in most data application, including numerical prediction models with coarse horizontal resolution comparable with the radiosonde drift distance (Seidel et al., 2011). As the NWPM outputs, which could enable consideration of the above-mentioned phenomena, were not available, they were not considered in this study. The radiosonde drift at particular SPL and its annual variability are presented for the investigated period only for illustration.

The horizontal distance represents distance between the station and the point on the earth's surface with the latitude and the longitude of the radiosonde in this study. Annual variability in winds, especially at upper SPL, cause seasonal differences in distance between the real radiosonde position and the upper-air station. The real position of the radiosonde is influenced not only by wind speed but also by typical changes in wind direction, especially at the

highest SPL. Figures 1 and 2 document the mean horizontal distance between the station and the radiosonde at particular SPL and its annual variability during the investigated period. The horizontal distance was calculated incorporating the earth's curvature in the calculations.

Figure 2 shows increase in the horizontal distance with altitude. The mean radiosonde horizontal distance from the station exceeds 50 km for the last three SPL. It is clear from the Figure 1 that the horizontal distance between the radiosonde and the station manifests the annual course. Calculated radiosonde drifts were consistent with statistics of Seidel et al. (2011) for the mid-latitudes.

Figure 1. Monthly means of horizontal distance between the radiosonde position and upper-air station Poprad-Gánovce at selected SPL 500, 700, 100 and 20 hPa for the period 11/2016–10/2017.

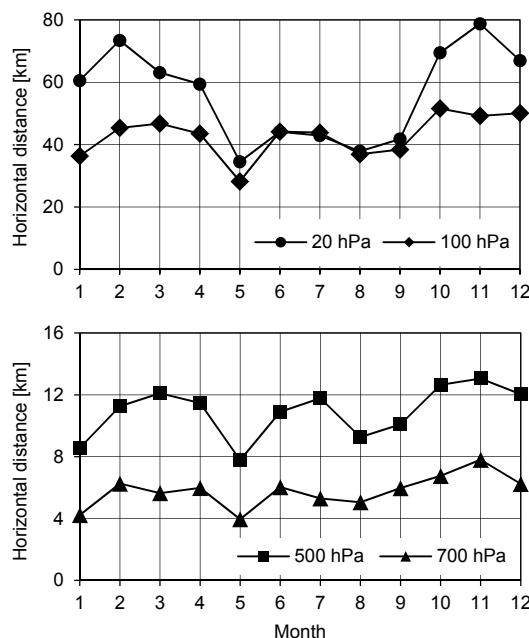
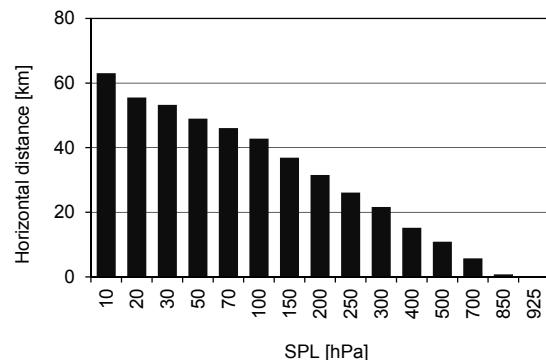


Figure 2. Mean horizontal distance between the radiosonde position and the upper-air station Poprad-Gánovce at all SPL calculated for the period 11/2016–10/2017.



To express differences between measured and modelled geopotential height data and their variability, simple statistics such as bias or difference, standard deviation of the mean and the root mean square error of the model were used in the study.

RESULTS AND DISCUSSION

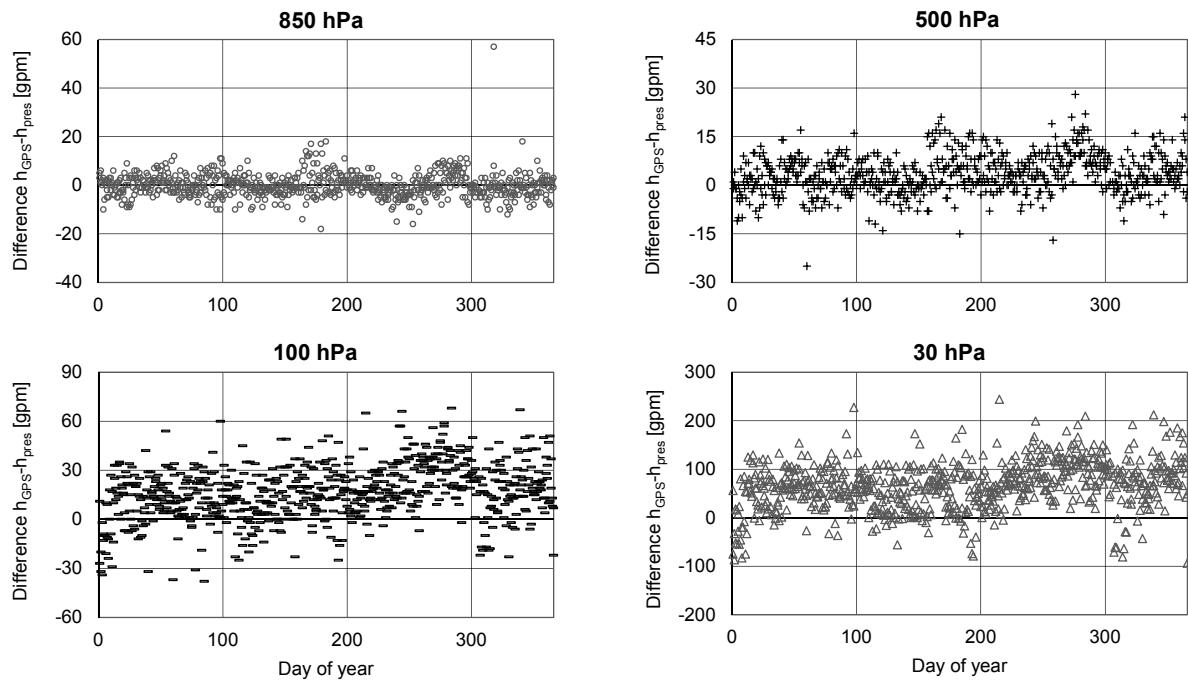
Geopotential height calculated from the GPS and from the air pressure

Mean geopotential altitudes of SPL determined from the air pressure measurements and from the GPS together with differences between them are summarized in Figure 3 and Table 4 for all radiosondes used in the investigated period. The mean geopotential heights derived from the GPS are systematically higher than those calculated from the air pressure. The differences and their standard deviations increase from units of gpm measured up to 200 hPa SPL to more than 100 gpm at the highest SPL where the maximal differences reached hundreds of gpm.

Table 4. Mean geopotential altitudes of the SPL determined from the air pressure measurements h_{press} and the GPS h_{GPS} , their standard deviation, differences between them ($h_{\text{GPS}} - h_{\text{press}}$), standard deviations of differences and maxima for N upper-air measurements for all measurements through the whole investigated time period 11/2016–10/2017.

SPL [hPa]		925	850	700	500	400	300	250	200	150	100	70	50	30	20	10
Altitude h_{GPS} [gpm]																
AVG	[gpm]	811	1494	3052	5632	7251	9221	10410	11827	13651	16221	18470	20592	23836	26448	31096
STDEV	[gpm]	53	62	85	140	178	224	244	252	253	264	288	323	397	479	644
N		687	729	729	729	728	728	728	728	728	728	728	728	717	692	599
Altitude h_{press} [gpm]																
AVG	[gpm]	808	1494	3050	5628	7246	9215	10404	11820	13641	16204	18444	20554	23770	26347	30887
STDEV	[gpm]	51	62	85	139	177	222	242	249	249	258	281	314	385	462	607
N		688	727	728	728	727	727	727	727	727	727	727	727	716	691	598
Difference ($h_{\text{GPS}} - h_{\text{press}}$) [gpm]																
AVG	[gpm]	2,1	0,1	1,3	3,6	5,1	5,9	6,4	7,0	10,1	16,6	25,6	37,7	66,1	100,3	207,4
STDEV	[gpm]	7,9	5,2	4,7	6,0	6,8	8,1	9,2	10,4	12,4	16,7	22,5	30,5	49,5	74,3	152,8
MAX	[gpm]	72	57	23	28	34	32	37	39	54	68	94	135	244	373	813
N		684	727	727	727	726	726	726	726	726	726	726	726	715	689	596

Figure 3. Differences between geopotential heights determined from the air pressure h_{pres} and from the GPS h_{GPS} for selected SPL of 850, 500, 100 and 30 hPa and for all upper-air measurements (terms T00 and T12 UTC) in the period 11/2016–10/2017.



Geopotential height determined from the upper-air measurements and from the NWP models

Geopotential heights derived from the air pressure measurements by the RS92 SGP and RS41 SGP radiosondes were compared with all NWPM outputs in the whole investigated year-long period with aim to detect differences between them.

Differences between the geopotential heights calculated from the air pressure measurements and from the GPS against the analysis results of the NWPM ALADIN SHMU for selected SPL can be seen in Figure 4. Similar differences were detected also for the 6h forecast and for the NWPM ALADIN CHMI (not shown).

No significant annual course is presented in the differences. Bigger data spread is visible for the GPS geopotential altitudes at higher levels. There are visible two periods in Figure 4 when the differences for the GPS geopotential altitude and their variability dropped to values corresponding to the differences for measured air pressure, especially at the higher SPL. These periods (days 131–159, 300–310) coincided with the time intervals when the radiosondes RS41 SGP were launched.

If the NWPM outputs where considered the reference for the geopotential height calculated from the GPS, the mean bias above the 100 hPa SPL would be close to the uncertainty threshold (Tab. 1) set by the WMO for acceptable upper-air geopotential height measurements. However, better fitting of modelled geopotential heights and smaller bias between the NWPM results and measurements at upper levels were originally expected for the GPS geopotential altitudes. High variability and significant deviations of the GPS geopotential altitudes from the modelled values at higher SPL (Fig. 5) indicate that technical equipment of

the radiosonde RS92 SGP and MW41 operational unit with the used software probably do not allow proper geopotential height determination by the GPS method, especially at altitudes above the 100-hPa level.

On the other hand, Figure 4 documents that altitudes derived from the air pressure and from the GPS are more consistent with modelled values for the radiosonde RS41 SGP that will replace the radiosonde RS92 in 2018. Differences between measured and modelled geopotential heights are presented separately for one period of the RS41 SGP radiosonde launching (May 12 to June 9, 2017) in Table 5.

The huge bias of geopotential height determined from the GPS at upper levels by the radiosonde RS92 SGP was not found in the short period of the radiosonde RS41 SGP measurements. The differences between measured and modelled geopotential altitudes showed expected results for the new version of the NWPM ALADIN SHMU: smaller GPS-derived geopotential height departures at altitudes above 100 hPa in comparison to the method used the air pressure. Both methods produced practically the same and very small differences (up to 4 gpm) between measurements and modelled values near the ground at 925 and 850 hPa levels. Negative bias between the measured and modelled geopotential altitudes by the NWPM ALADIN SHMU was present in layer ranging from about 500 hPa to 70 hPa where the bias exceeded -10 hPa. For the ALADIN CHMI, the differences were close to 0 gpm from the ground to the 100 hPa SPL and then started their steep increase for the geopotential altitude derived from the GPS measurements. The geopotential height calculated from the air pressure fitted the modelled data better above the 100 hPa level.

Figure 4. Differences between NWPM ALADIN SHMU analysis result $h_{\text{ALADINSHMU}}$ and the geopotential heights determined from the air pressure h_{press} (circles) and from the GPS h_{GPS} (cross marks) for selected SPL 850, 500, 100 and 30 hPa and for all upper-air measurements (terms T00 and T12 UTC) in the period 11/2016 – 10/2017.

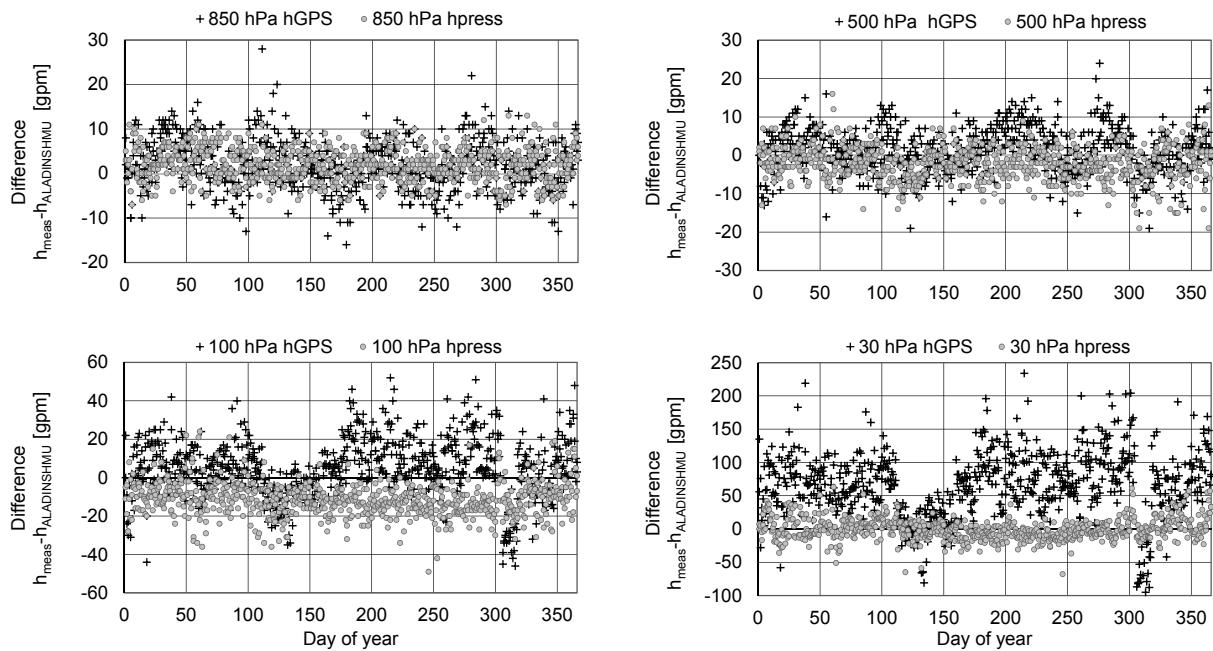


Figure 5. Mean differences between geopotential heights derived from the GPS h_{GPS} and modelled by the NWPM ALADIN $h_{\text{ALADINCHMI}}$, SHMU analysis and 6h forecast (left) and the RMS error of models (right) for all measurements in the period 11/2016 – 10/2017.

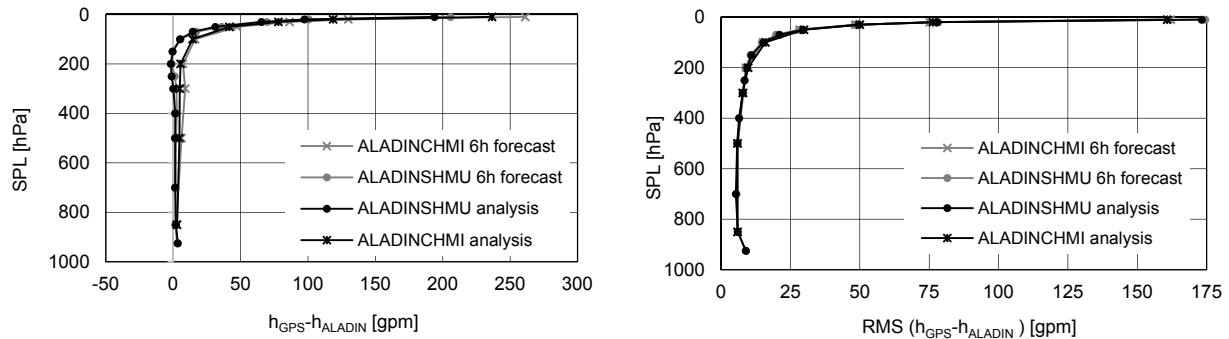


Table 5. Average differences AVG and the root mean square error RMS of the geopotential heights measured by the radiosonde RS41 SGP using the pressure sensor h_{press} and the GPS h_{GPS} and modelled heights using NWPM analysis h_{analysis} and +6h forecasts $h_{\text{forecast}6h}$ of the model ALADIN CHMI and the new version of the model ALADIN SHMU at all SPL for N measurements from May 12 to June 9, 2017.

		SPL [hPa]	925	850	700	500	400	300	250	200	150	100	70	50	30	20	10
		N	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	57
ALADIN SHMU	$h_{\text{GPS}}-h_{\text{analysis}}$ [gpm]	AVG	2	1	1	-1	-3	-4	-5	-6	-8	-7	-5	2	11	4	-9
		RMS	4	4	4	4	5	5	4	6	8	9	13	19	33	49	98
	$h_{\text{GPS}}-h_{\text{forecast}6h}$ [gpm]	AVG	3	2	1	-1	-1	-2	-3	-7	-9	-8	-7	3	12	7	12
		RMS	4	3	4	4	5	5	7	7	8	12	18	32	50	99	
ALADIN CHMI	$h_{\text{press}}-h_{\text{analysis}}$ [gpm]	AVG	2	2	1	-1	-3	-4	-6	-8	-10	-11	-11	-6	-4	-20	-64
		RMS	4	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	8	13	17	38
	$h_{\text{press}}-h_{\text{forecast}6h}$ [gpm]	AVG	1	1	1	-2	-3	-4	-7	-10	-15	-15	-14	-9	-6	-15	-33
		RMS	3	3	4	3	5	8	9	8	8	9	8	10	16	20	24

Table 6. Mean monthly and annual (AVG) differences between geopotential heights calculated from the air pressure h_{press} and the NWPM ALADIN SHMU analysis $h_{\text{ALADINSHMUanalysis}}$ and 6h forecast $h_{\text{ALADINSHMU}6\text{h forecast}}$ at SPL together with the root mean square error RMS of modelled values and number of data N for midnight upper-air measurement term T00 UTC. Data corresponding to operation of the new version of the NWPM ALADIN SHMU 4.0 are signed by cursive.

Month	SPL [hPa]													
	850	700	500	400	300	250	200	150	100	70	50	30	20	10
T 00 ($h_{\text{press}} - h_{\text{ALADINSHMUanalysis}}$) ± RMS [gpm]														
11/2016	-2 ± 3	-4 ± 5	-6 ± 7	-6 ± 8	-8 ± 10	-10 ± 12	-11 ± 13	-10 ± 12	-13 ± 15	-13 ± 16	-9 ± 15	-2 ± 14	-2 ± 23	21 ± 38
12/2016	-2 ± 4	-4 ± 6	-6 ± 8	-7 ± 9	-9 ± 12	-11 ± 14	-11 ± 15	-9 ± 15	-10 ± 14	-11 ± 15	-5 ± 14	3 ± 18	15 ± 26	66 ± 82
1/2017	-1 ± 4	-2 ± 34	-4 ± 5	-5 ± 6	-6 ± 7	-8 ± 10	-8 ± 10	-10 ± 12	-11 ± 14	-10 ± 12	-7 ± 12	-1 ± 19	6 ± 30	-14 ± 66
2/2017	-0 ± 3	-2 ± 3	-3 ± 5	-5 ± 6	-6 ± 8	-8 ± 10	-10 ± 12	-12 ± 14	-10 ± 14	-12 ± 15	-9 ± 13	-5 ± 14	-4 ± 16	-42 ± 58
3/2017	-1 ± 3	-2 ± 4	-3 ± 5	-3 ± 6	-3 ± 8	-6 ± 10	-8 ± 11	-6 ± 12	-7 ± 13	-8 ± 13	-4 ± 14	-1 ± 16	-5 ± 23	-15 ± 37
4/2017	-2 ± 3	-2 ± 3	-3 ± 6	-5 ± 6	-6 ± 8	-8 ± 10	-10 ± 12	-20 ± 12	-9 ± 12	-7 ± 13	-2 ± 12	4 ± 14	-17 ± 19	-85 ± 28
5/2017	-3 ± 3	-2 ± 3	-3 ± 4	-4 ± 5	-6 ± 7	-7 ± 8	-8 ± 9	-19 ± 10	-11 ± 12	-11 ± 13	-8 ± 13	-5 ± 12	-24 ± 15	-72 ± 30
6/2017	-3 ± 4	-3 ± 4	-3 ± 4	-4 ± 5	-5 ± 6	-5 ± 8	-7 ± 9	-18 ± 10	-12 ± 14	-12 ± 14	-9 ± 15	-10 ± 13	-24 ± 16	-58 ± 28
7/2017	-2 ± 3	-2 ± 2	-3 ± 3	-4 ± 5	-5 ± 6	-6 ± 7	-8 ± 9	-20 ± 11	-13 ± 12	-13 ± 14	-10 ± 14	-9 ± 12	-22 ± 13	-34 ± 25
8/2017	-1 ± 3	-1 ± 3	-2 ± 3	-4 ± 5	-5 ± 6	-6 ± 7	-8 ± 8	-19 ± 10	-10 ± 11	-12 ± 11	-10 ± 10	-7 ± 13	-18 ± 14	
9/2017	-1 ± 3	-2 ± 3	-3 ± 4	-4 ± 5	-6 ± 7	-8 ± 10	-11 ± 12	-23 ± 12	-15 ± 15	-13 ± 17	-10 ± 17	-8 ± 15	-11 ± 16	-18 ± 19
10/2017	-2 ± 3	-2 ± 3	-4 ± 5	-6 ± 7	-8 ± 9	-9 ± 11	-11 ± 12	-24 ± 13	-13 ± 15	-13 ± 16	-8 ± 14	-1 ± 11	0 ± 13	16 ± 16
AVG	-2 ± 3	-2 ± 4	-3 ± 5	-5 ± 6	-6 ± 8	-8 ± 10	-9 ± 11	-16 ± 12	-11 ± 13	-11 ± 14	-7 ± 14	-4 ± 14	-8 ± 18	-21 ± 36
N	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	355	338	300
T 00 ($h_{\text{press}} - h_{\text{ALADINSHMU}6\text{h forecast}}$) ± RMS [gpm]														
4/2017	1 ± 3	-1 ± 4	-4 ± 6	-5 ± 7	-7 ± 9	-10 ± 12	-11 ± 13	-12 ± 13	-11 ± 14	-7 ± 13	1 ± 14	8 ± 20	-10 ± 24	-50 ± 62
5/2017	0 ± 3	-1 ± 3	-3 ± 4	-4 ± 6	-5 ± 8	-7 ± 9	-10 ± 11	-12 ± 13	-12 ± 14	-11 ± 13	-5 ± 10	0 ± 13	-15 ± 23	-45 ± 57
6/2017	-1 ± 3	-2 ± 3	-2 ± 5	-3 ± 5	-3 ± 7	-5 ± 9	-8 ± 12	-12 ± 15	-11 ± 14	-10 ± 13	-4 ± 9	-2 ± 12	-10 ± 20	-28 ± 37
7/2017	-1 ± 2	-1 ± 3	-4 ± 5	-4 ± 7	-6 ± 9	-10 ± 12	-12 ± 13	-13 ± 14	-10 ± 13	-6 ± 10	-5 ± 11	-16 ± 21	-14 ± 30	
8/2017	0 ± 2	-1 ± 3	-3 ± 4	-4 ± 5	-5 ± 7	-6 ± 9	-9 ± 11	-11 ± 12	-10 ± 11	-10 ± 16	-4 ± 7	-5 ± 9	3 ± 16	4 ± 22
9/2017	-2 ± 4	-3 ± 6	-4 ± 6	-6 ± 8	-7 ± 9	-9 ± 11	-11 ± 13	-13 ± 17	-16 ± 19	-12 ± 16	-6 ± 14	-3 ± 15	-2 ± 19	3 ± 25
10/2017	0 ± 3	-1 ± 4	-5 ± 7	-7 ± 9	-7 ± 10	-9 ± 12	-12 ± 15	-14 ± 17	-14 ± 17	-12 ± 14	-4 ± 9	5 ± 16	10 ± 23	39 ± 52
AVG	0 ± 3	-1 ± 3	-4 ± 5	-5 ± 6	-5 ± 8	-7 ± 10	-10 ± 12	-12 ± 14	-12 ± 15	-10 ± 13	-4 ± 10	0 ± 14	-6 ± 21	-13 ± 41
N	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	212	209	194

Table 7. Mean monthly and annual (AVG) differences between geopotential heights from air pressure h_{press} and analysis $h_{\text{ALADINCHMIanalysis}}$ and 6h forecast $h_{\text{ALADINCHMI}6\text{h forecast}}$ of the NWPM ALADIN CHMI at selected SPL together with the RMS error of modelled values and number of data N for midnight upper-air measurements T00 UTC.

Month	SPL [hPa]										SPL [hPa]										
	850	500	300	200	100	50	30	20	10	850	500	300	200	100	50	30	20	10	850	500	
T 00 ($h_{\text{press}} - h_{\text{ALADIN CHMIanalysis}}$) ± RMS [gpm]																					
11/2016	0 ± 3	-1 ± 4	-3 ± 6	-3 ± 6	-4 ± 8	2 ± 12	6 ± 14	9 ± 21	19 ± 32	-1 ± 3	-2 ± 5	-3 ± 8	-6 ± 12	-2 ± 10	10 ± 16	20 ± 25	33 ± 39	80 ± 89	0 ± 3	0 ± 4	-1 ± 5
12/2016	0 ± 4	-2 ± 5	-4 ± 6	-3 ± 8	-2 ± 9	6 ± 14	15 ± 21	27 ± 32	55 ± 63	-1 ± 3	-2 ± 5	-3 ± 8	-6 ± 12	-2 ± 10	10 ± 16	20 ± 25	33 ± 39	80 ± 89	0 ± 3	0 ± 4	-1 ± 5
1/2017	-2 ± 4	-2 ± 3	-1 ± 4	-1 ± 5	-2 ± 7	5 ± 10	12 ± 17	24 ± 28	35 ± 43	0 ± 3	0 ± 4	-1 ± 5	-5 ± 8	-7 ± 10	3 ± 9	14 ± 18	31 ± 35	61 ± 69	0 ± 3	0 ± 4	-1 ± 5
2/2017	1 ± 3	-1 ± 3	-3 ± 5	-3 ± 6	-3 ± 10	1 ± 12	5 ± 14	15 ± 19	28 ± 33	1 ± 3	0 ± 4	-3 ± 6	-5 ± 8	-7 ± 11	2 ± 12	9 ± 15	20 ± 25	44 ± 49	0 ± 3	0 ± 4	-3 ± 6
3/2017	0 ± 3	-1 ± 3	-1 ± 6	-1 ± 10	0 ± 10	5 ± 13	9 ± 17	13 ± 21	17 ± 28	0 ± 3	0 ± 7	2 ± 11	-4 ± 10	-2 ± 12	8 ± 16	15 ± 21	19 ± 28	36 ± 44	0 ± 3	0 ± 4	-2 ± 6
4/2017	0 ± 2	-2 ± 3	-4 ± 6	-3 ± 7	-1 ± 8	4 ± 7	7 ± 17	11 ± 21	13 ± 27	1 ± 3	0 ± 4	-2 ± 6	-5 ± 7	-4 ± 10	7 ± 12	15 ± 23	20 ± 28	33 ± 42	0 ± 3	0 ± 4	-1 ± 6
5/2017	-1 ± 2	-1 ± 3	-3 ± 5	-3 ± 7	-3 ± 7	0 ± 7	5 ± 14	6 ± 18	2 ± 28	1 ± 3	1 ± 4	1 ± 6	-3 ± 7	-3 ± 8	6 ± 11	14 ± 19	16 ± 23	21 ± 36	1 ± 3	1 ± 4	1 ± 6
6/2017	-2 ± 3	-1 ± 4	-3 ± 6	-3 ± 8	-3 ± 8	0 ± 9	5 ± 12	9 ± 16	12 ± 21	0 ± 3	2 ± 4	4 ± 8	1 ± 9	0 ± 10	9 ± 13	17 ± 20	22 ± 26	35 ± 38	0 ± 3	2 ± 4	4 ± 8
7/2017	-1 ± 2	-1 ± 3	-2 ± 4	-3 ± 5	-2 ± 5	2 ± 8	6 ± 10	8 ± 12	21 ± 27	0 ± 2	1 ± 3	3 ± 6	-1 ± 6	0 ± 4	9 ± 12	17 ± 19	21 ± 26	44 ± 47	0 ± 2	1 ± 3	3 ± 6
8/2017	-1 ± 3	-1 ± 3	-2 ± 4	-1 ± 4	0 ± 4	3 ± 7	9 ± 12	16 ± 19	17 ± 20	2 ± 3	1 ± 3	2 ± 6	-1 ± 5	2 ± 5	9 ± 10	15 ± 16	25 ± 27	41 ± 43	2 ± 3	1 ± 3	2 ± 6
9/2017	-1 ± 3	-1 ± 3	-2 ± 4	-2 ± 5	-4 ± 9	0 ± 12	4 ± 13	8 ± 16	17 ± 21	-1 ± 3	-1 ± 5	-2 ± 7	-4 ± 8	-5 ± 13	4 ± 13	10 ± 17	16 ± 22	33 ± 35	0 ± 3	0 ± 4	-3 ± 7
10/2017	-2 ± 3	-3 ± 4	-5 ± 7	-5 ± 8	-3 ± 11	-1 ± 8	8 ± 11	11 ± 15	27 ± 32	0 ± 3	-2 ± 6	-3 ± 7	-6 ± 9	-5 ± 12	4 ± 9	13 ± 16	18 ± 23	46 ± 51	0 ± 3	0 ± 4	-3 ± 7
AVG	-1 ± 3	-1 ± 4	-3 ± 5	-3 ± 6	-2 ± 8	2 ± 10	8 ± 14	13 ± 20	22 ± 31	0 ± 3	0 ± 4	0 ± 7	-3 ± 8	-3 ± 10	6 ± 12	14 ± 19	22 ± 27	41 ± 50	321	321	321
N										321	321	321	321	321	321	313	297	265			
T 00 ($h_{\text{press}} - h_{\text{ALADINCHMI}6\text{h forecast}}$) ± RMS [gpm]																					

To show differences between two models fitting of the same measurements, the geopotential height determined from the air pressure measurements was compared to outputs of both NWPM for all measurements. Expecting the influence of annual variability in the horizontal distance between the radiosonde and the station on differences, also monthly means in the differences were calculated. Mean monthly differences and the RMS errors are presented in Tables 6 and 7.

Comparison between Table 6 and Table 7 shows that both models fitted the measurement well close to the ground. The NWPM ALADIN SHMU overestimates the geopotential altitudes up to 50 hPa SPL with maximal biases exceeding 10 gpm in the layer between 150 and 70 hPa. However, the NWPM ALADIN SHMU shows better agree-

ment with measured geopotential heights than the CHMI model at upper levels above the 30 hPa SPL where one can see both, bigger positive and negative departures of modelled values from measurements.

For the NWPM ALADIN CHMI, the modelled values fit the measurements well up to 50 hPa SPL. Underestimation of the geopotential height by the model prevails above this level.

The differences between modelled and measured geopotential heights do not manifest explicit enhancement in months when there is bigger distance between the radiosonde and the station at the higher SPL.

The 6h forecasts of both numerical models showed slightly bigger bias and RMS error, especially at higher altitudes, in comparison to analysis.

Figure 6 Frequency distribution in differences between geopotential height determined from the air pressure h_{press} and the 6h forecast of the NWPM ALADIN h_{ALADIN} of the CHMI and SHMU at selected SPL 850, 500, 100 and 10 hPa in both terms of upper-air measurements T00 and T12 and for the whole period 11/2016 – 10/2017.

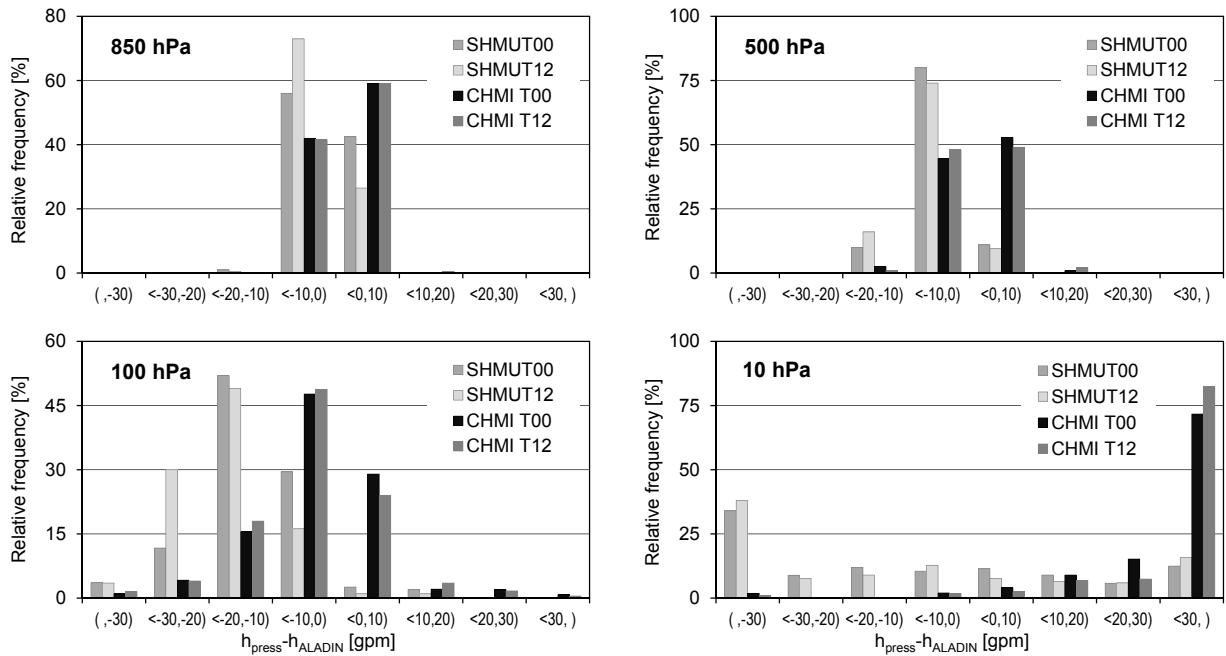
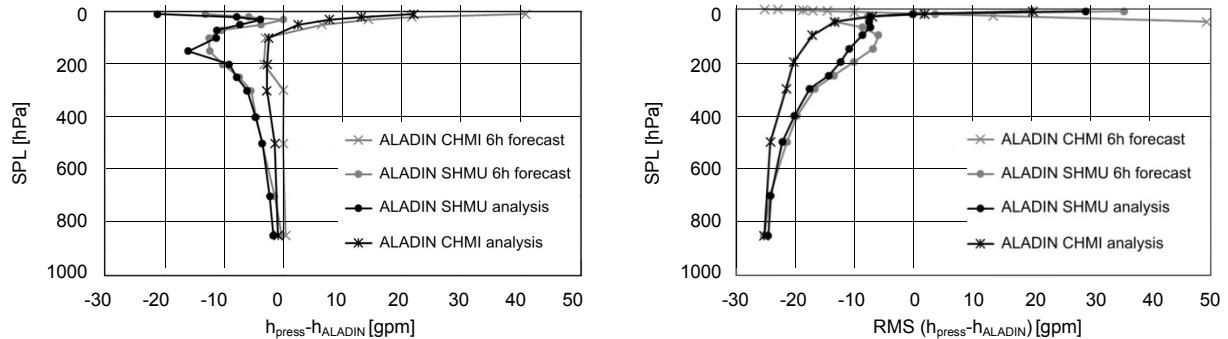


Figure 7. Mean annual differences between geopotential heights derived from the air pressure h_{press} and modelled by the NWPM ALADIN h_{ALADIN} of the CHMI, the SHMU (left) and the RMS error of models (right).



The differences calculated for the midnight measurement term were similar to the midday upper-air measurements (not shown). Distribution of mean annual differences between measured and forecasted geopotential heights for both measurement terms T00 and T12 is presented in Figure 6. The graphs confirm bigger bias of the NWPM ALADIN SHMU forecast, in comparison to the NWPM ALADIN CHMI, manifesting at 500 and 100 hPa levels. At the highest SPL of 10 hPa, distribution in differences is practically regular for the NWPM ALADIN SHMU but there is significant positive bias detected for the NWPM ALADIN CHMI.

Figure 7 shows that there are no significant differences between the NWPM analysis and forecast neither in differences nor in the RMS errors. The mean differences and the RMS error are slightly bigger for the NWPM SHMU up to the 50 hPa SPL. Above this level, the CHMI model manifests big bias against the geopotential height derived from the measured air pressure.

CONCLUSIONS

Results of comparisons between geopotential heights determined by two methods (from air pressure and from the GPS) from the upper-air measurements and values modelled by two local NWPM used for daily quality control of measured data are presented in the paper. The study does not present absolute calibration of geopotential heights determined from upper-air measurements because the outputs of the NWPM do not represent absolute reference. However, the comparisons can clarify biases between data sets of measured and modelled geopotential heights and they can be helpful by inhomogeneity detection in measured parameters after changes in upper-air measurement system.

The study shows that the geopotential heights determined from the GPS system by the RS92 SGP radiosonde manifested bias exceeding 100 gpm against the NWP models at upper levels. Such phenomenon has not been

observed during periods of operation of the RS41 SGP radiosondes. The geopotential heights calculated from the GPS and the air pressure were more consistent and the bias from the geopotential heights modelled by the NWPM was smaller by this new type of radiosonde. The geopotential heights calculated from the GPS fitted the NWPM ALADIN SHMU better in higher levels than those calculated from the measured air pressure by the RS41 SGP radiosonde. The NWPM of the CHMI showed bigger bias from the geopotential heights determined from the GPS system. It could relate to the fact that the model assimilation was performed using the geopotential heights calculated from the measured air pressure.

Comparison between the geopotential height calculated from the measured air pressure with two NWPM ALADIN of the SHMU and the CHMI showed that the NWPM CHMI up to about 50 hPa SPL fit upper-air measurements better. The bias between measurements and values modelled by the SHMU NWPM probably relate more to the NWPM than to measurement problem. Nearly the same bias with maximum in the same layers as by the older version of the NWPM ALADIN SHMU was observed by the new model version with better vertical and horizontal resolution. The bias and the RMS error of the model were still within the model uncertainties of about 10 gpm and below optimal uncertainties in geopotential height set by the WMO (2014) up to about 100 hPa SPL. Despite the detected bias, modelled geopotential heights of the NWPM ALADIN SHMU can be used as a good tool for upper-air measurements quality control at the Poprad-Gánovce station. As there were no significant differences between the NWPM 6h prediction and analysis results, the short-term forecast will be used, together with the checking of the day-to-day variability in geopotential height, as an operative tool for the upper-air measurements quality control during the radiosonde ascent.

The main reason for investigation of differences in geopotential heights determined from the air pressure and from the GPS was expected introduction of the new type of radiosondes with geopotential height determination using only the GPS system in the operational practice in 2018. For long period (1992–2018), the geopotential height has been determined from measured air pressure. Though the air pressure measurements do not enable calculation of the geopotential heights in the upper levels of aerological measurement with such accuracy as the GPS system, they were used for this purpose for a long time and change in the geopotential height calculation method can influence time series of all measured upper-air elements. Big advantage of the measured air pressure availability is that the upper-air measurement can be successfully finished also by absence of the GPS satellite signal. By this condition, only wind data are missing in the vertical profiles of basic upper-air elements. Measured air pressure can be appreciated also by the NWPM providers, especially in situations when the atmosphere is not in hydrostatic state. An air pressure vertical profile calculated using the hydrostatic equation does not correspond to real atmospheric condition by these situations.

Though the results of the geopotential heights determined from the GPS measurements of the new radiosonde RS41 SGP were promising, they were performed in a sea-

son when the distance between radiosondes and the station was the shortest. Unexpected inconsistency in the geopotential heights calculated from the GPS and from the air pressure by the RS92 SGP radiosonde, short periods of the new radiosonde RS41 SGP test launching and inconsistent departures of the geopotential height derived from the GPS from modelled values of the CHMI and the SHMU NWPM above the 100 hPa SPL are factors which indicate possible inhomogeneity in upper-air data after change of the geopotential height calculation method. It would be reasonable to use new GPS radiosondes equipped with the pressure sensor for some transitional period and to continue the comparisons. This would enable monitoring of differences between geopotential heights calculated using both methods by wide range of meteorological condition.

As the upper-air information is shared by the BUFR message, it would be helpful (especially for the NWPM providers) to enable presenting of both geopotential altitudes – first one derived from the GPS and second one from an air pressure measurement – if they are available. Availability of both geopotential altitudes could enable the data users (aeroclimatologists, modellers, aviation services) to choose appropriate data regarding to their purpose.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge MSc. M. Motl and Mr. P. Žárský from the upper-air station of the CHMI Prague-Libuš for data supply from the NWPM ALADIN CHMI and to Dr. M. Derková from the SHMU for regular sending of the data from the NWPM ALADIN SHMU.

REFERENCES

- Bučánek, A.–Trojáková, A.–Brožková, R., 2015, *Asimilační schéma BLENDVAR v ČHMÚ*, Meteorologické zprávy 68/2015, 180–185.
- Derková, M.–Vivoda, J.–Belluš, M.–Španiel, O.–Dian, M.–Neštiak, M.–Zehnal, R., 2017, *Recent improvements in the ALADIN/SHMU operational system*. Meteorologický časopis, 20/2, 2017, 45–52.
- Derková, M., 2018, *private communication*.
- Mašek, J., 2018, *private communication*.
- Motl, M., 2018, *private communication*.
- Nash, J.–Oakley, T.–Vömel, H.–Wei, L., 2011, *WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems (12 July – 3 August 2010; Yangjiang, China)*, WMO/TD- No. 1580; IOM Report, No. 107.
- Seidel, D.J.–Sun, B.–Pettet, R.–Reale, A., 2011, *Global radiosonde balloon drift statistics*. J. Geophys. Res., 116, D07102, doi:10.1029/2010JD014891.
- Termonia, P.–Fischer, C.–Bazile, E.–Bouyssel, F.–Brožková, R.–Bénard, P.–Bochenek, B.–Degrauwe, D.–Derková, M.–El Khatib, R.–Hamdi, R.–Mašek, J.–Pristov, N.–Seity, Y.–Smolíková, P.–Španiel, O.–Tudor, M.–Wang, Y.–Wittmann, Ch.–Joly, A., 2018, *The ALADIN System and its canonical model configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1*, Geosci. Model Dev., 11, 257–281, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-257-2018>.
- WMO, 2014 (updated in 2017), *WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation*. WMO CIMO guide No. 8.

MULTIRESOLUTION TIME-FREQUENCY ANALYSES OF WIND SPEED AND WIND DIRECTION DATA

MILAN ODERKA, VLADIMÍR CHUDOBA, MARCELA MORVOVÁ, MARTIN GERA

Comenius University, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of Astronomy, Earth Physics and Meteorology, Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava, Slovakia

In order to integrate wind power into the power grid it is necessary to understand how wind varies across temporal and spatial scales. Investigating the dynamics and scaling of wind provides a valuable insight into the underlying stochastic processes governing the temporal variability of wind. One of the greatest challenges in integrating wind power into the electric grid is that wind profiles are site-specific, intermittent and persistent. Although storing the produced energy seems to provide a good solution to this problem, there is still a lack of information regarding the time scaling behavior of wind at scales that determines the storage needs. In this paper we investigate the scaling behavior of hourly wind speed and wind direction data from nine sites located in Slovakia (central Europe) over the period 2006–2016. First, we applied the Fast Fourier Transformation to calculate the scaling exponents and the Continuous Wavelet Transformation to visualize the spectral power of the analyzed times series across a wide range of frequencies. Our results show that two distinct scaling regimes exist in both the speed and direction records: the mesoscale and synoptic scales. At mesoscales, the average spectral slope of wind speed was $\beta = 0.887$ and $\beta = 0.445$ for wind direction data. We found out that the breakpoint separating the mesoscale from the synoptic scale occurred at 3.5 days in the case of wind speed and 17.7 days in the case of wind direction. At synoptic scales longer than the breakpoint, the power spectra of the analyzed series show properties of white noise. Finally, by means of the Continuous Wavelet Transformation we show that the wind speed and wind direction data are intermittent on daily scales and that wind speed data exhibits intermittent diurnal cycles preferentially from spring to autumn, which can be explained by a more pronounced convective heating of the ground. Spectral gaps between the diurnal cycles and the synoptic scales are clearly visible in the wavelet spectrograms.

Za účelom efektívneho začlenenia veternej energie do elektrickej siete je potrebné pochopíť ako sa vietor správa v čase a priestore. Skúmanie dynamiky a škálovania vetra poskytuje cenný pohľad na základné stochastické procesy ovplyvňujúce variabilitu vetra. Jednou z najväčších výziev pre integráciu veternej energie do elektrickej siete je vysporiadat' sa aj s priestorovou variabilitou vetra. Avšak ešte stále chýbajú informácie o správaní sa vetra v časových škálach zaujímavých pre potreby uskladnenia veternej energie. V tomto príspevku skúmame škálové správanie sa hodinových údajov o rýchlosťi vetra a smeru vetra z deviatich lokalít v strednej Európe v rokoch 2006–2016. Použitím rýchlej Fourierovej transformácie sme vypočítali škálovacie exponenty a pomocou vlnkovej transformácie (CWT) sme vizualizovali spektrálny výkon analyzovaných časových radov v širokom rozsahu frekvencií. Pri bližšej analýze bola pozorovaná zmena sklonu smernice spektier, čo naznačuje rôzne škálovacie režimy. Identifikáciou bodu zlomu sklonu smernice vieme rozdeliť spektrum na dve časti, ktoré zodpovedajú dvom meteorologickým režimom: mezoškála a synoptická škála. V mezoškále bol priemerný spektrálny sklon výkonového spektra rýchlosťi vetra $\beta = 0,876$ a $\beta = 0,439$ v prípade smeru vetra. Zistili sme, že bod zlomu, ktorý oddeluje mezoškálu od synoptickej škály, sa vyskytuje v čase 4,4 dňa v prípade rýchlosťi vetra a 16 dní v prípade smerov vetra. Výkonové spektrá analyzovaných údajov v synoptickej škále za bodom zlomu vyzkazujú vlastnosti bieleho šumu. A nakoniec, prostredníctvom vlnkovej transformácie, sme ukázali, že údaje o rýchlosťi vetra vyzkazujú denný cyklus, pričom tieto denné cykly sa vyskytujú najmä od jari do jesene, čo možno vysvetliť výraznejším konvektívnym prúdením. Pozorovaná spektrálna medzera medzi dennými cyklami a synoptickou škálou je jasne viditeľná na spektrogramoch waveletovej transformácie.

Key words: scaling, spectral properties, wind, velocity, direction, power generation, wavelet transformation, Slovakia (central Europe)

INTRODUCTION

Wind as a source of renewable energy has received a great deal of attention recently, mainly because electric power produced from wind farms is emission-free and also because wind is available practically everywhere. However, wind exerts high variability at all spatial and temporal scales (Calif and Schmitt, 2014). The evaluation of wind power potential requires careful statistical analysis of wind speed and its frequency distributions (Pimenta et al., 2008; de Araujo Lima and Bezerra Filho, 2010; Shipkovs et al., 2013). Spatial planning and structural design of wind farms

have to reflect the wind scaling properties. Wind is the most complex weather variable with specific properties as long-range spatial and temporal correlations and multi-racial fluctuations dynamics (Govindan and Kantz, 2004; Telesca and Lovallo, 2011; de Oliveira Santos et al., 2012; De Figueirêdo et al., 2014; Calif and Schmitt, 2014; Korkmaza and Koçak, 2017). However, wind as a renewable source of energy is uncontrollable per se, hence large-scale implementation of this source of energy may cause strong fluctuations of power in the grid. One of the biggest challenges in integrating wind power into the electric grid is its

local specificity, intermittency and persistence due to the temporal and spatial variability of wind over a large range of scales (Bakker and Hurk, 2012; Leahy and McKeogh, 2013; Calif and Schmitt, 2014). Wind energy is also subject to rapid fluctuations, which can impact the stability of power grids with consequences for grid operators and reliability issues for customers (Coppin et al., 2014). Therefore storing the produced energy seems to provide a good solution to this problem. Such storage would prevent wasting of energy in cases of surplus and would supply it back to the system when a deficiency occurs. Nevertheless, there is a lack of information regarding the time scaling behavior of wind at scales that determine the storage needs.

In order to understand the potential of wind power it is important to perform careful statistical analysis of wind speed and its frequency distribution (Pimenta et al., 2008; de Araujo Lima and Bezerra Filho, 2010; Shipkovs et al. 2013; De Figueirêdo et al., 2014; Larsén et al., 2016). For many theoretical and practical problems it is important to know whether the energy of the wind at the various scales of motion extends uniformly over all the scales, or whether there are stronger scales separated by gaps (Fiedler et al., 1970). Therefore, apart from the probability distribution of wind speed and the duration of individual windy episodes (De Figueirêdo et al., 2014), investigating the dynamics and the scaling behavior of wind provides valuable insight into the underlying stochastic processes governing the temporal variability of wind.

Meteorologists usually differentiate between three types of scales of atmospheric systems: microscale, mesoscale and synoptic scale, although there is no general agreement in terms of the limits of these scales (Fiedler et al., 1970; Vinnichenko, 1970). Nevertheless, for the sake of clarity we adopt here the definition of Fiedler et al. (1970) according to which the synoptic scale includes of all scales of motion that can be analyzed on the basis of weather maps (periods > 2 days). This synoptic scale includes both the cyclone-scale and the planetary scales. The range of micro-scales is defined here as all systems in which the vertical and horizontal velocities are within the same order of magnitude (periods < 1 hour). These scales are brought by mechanically driven eddies such as convective cells caused by vertical temperature gradients (e.g. thunderstorm cells). The occurrence of convection is mainly related to thermal convection. Dynamic turbulence plays also an important role due to varying wind velocities at different heights.

And finally, the mesoscale fills in the interval between the microscale and synoptic scales. The mesoscale is represented by, e.g., strong diurnal variations (e.g. mountain-valley flows). The mesoscale covers periods between 1 to 48 hours.

The goal of this paper is twofold: (i) to use the Fast Fourier Transform and the Continuous Wavelet Transform as two independent methods to describe the scaling properties of wind speed and wind directions measured in the surface boundary layer of the atmosphere at ten sites in central Europe; (ii) to identify the site-specific spectral features and the timescales at which the scaling is governed by processes at meso-scales and synoptic scales.

MATERIALS AND METHODS

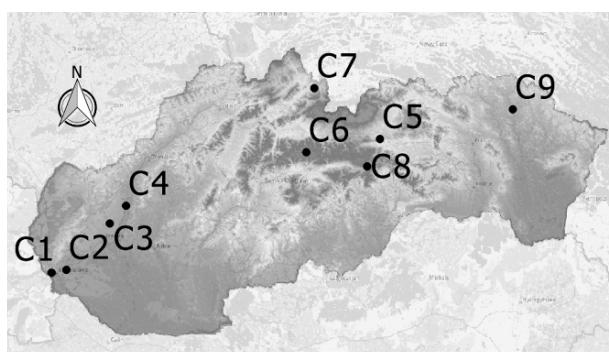
Data sources and processing

The data analyzed in this paper were measured during the time period from January 2006 to December 2016. The time series are hourly averages of wind speed. The stations were chosen to represent a wide range of altitudes, orographic conditions and land use patterns. The elevation ranges from 133 m a.s.l. up to 2005 m a.s.l. A brief description of the dominant land use around the meteorological stations is listed in Table 1. The actual measurements of wind speed and direction were performed on meteorological masts at a height of 10 m above the ground. All data were checked for quality. The analytical techniques we use (Fast Fourier Transform and the Continuous Wavelet Transform) require that the time series contain no gaps. For the sake of computational simplicity, missing data were interpolated by splining. Visually identified outliers were replaced with the average of two neighboring values. The location of the meteorological sites is shown in Figure 1. The spectral and wavelet analyses were performed using Matlab. The wavelet analysis was implemented in the package of Matlab codes provided by Aslak Grinsted (<https://github.com/grinsted/wavelet-coherence>) and the Torrence and Compo codes (<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>). We used the Matlab Circular Statistics Toolbox (Philipp Berens, 2009, berens@tuebingen.mpg.de) described in Zar (1999) for the calculation of the mean of wind directions.

Table 1. Description of measurement sites.

Site	Altitude [m a.s.l.]	Lat	Long
C1 (Bratislava - FMFI UK)	185	48°09'07"	17°04'06"
C2 (Bratislava-airport)	133	48°10'18"	17°12'00"
C3 (Jaslovské Bohunice)	176	48°29'12"	17°40'13"
C4 (Piešťany)	163	48°36'47"	17°49'58"
C5 (Gánovce)	703	49°02'06"	20°19'27"
C6 (Chopok)	2005	48°56'38"	19°35'32"
C7 (Liesek)	692	49°22'10"	19°40'46"
C8 (Telgárt)	901	48°50'55"	20°11'21"
C9 (Tisíneč)	216	49°12'56"	21°39'00"

Figure 1. Map of Slovakia with highlighted positions of measurement stations.



Fourier power spectra

First, we examined the power spectra as a function of frequency according to:

$$S(f) \propto 1/f^\beta, \quad (1)$$

where

- $S(f)$ is the power spectrum,
- f is the spectral frequency (day^{-1}),
- β is the power-law scaling (or spectral) exponent.

If any short- or long-term memory exists in the analyzed time series, the spectral power should be related to frequency according to Eq. 1. Spectral analysis is also useful for discovering many different cycles exhibiting different wavelengths oftentimes superimposed on a scaling background. As one of the oldest spectral techniques, Fourier analysis is based on decomposing a signal into its frequency components with varying amplitudes (Fleming et al. 2002; Onderka et al., 2011, Alam et al., 2014). If the time series have a similar amount of variance across all time scales, and when successive observations are independent from the previous observations (i.e., there is no short-term nor long-term autocorrelation), then its power spectra exhibit “white noise” $\{S(f) \propto 1\}$, where the spectral slope β is close or equal to zero. For white noise, values at any two different moments in time would be uncorrelated due to the fact that its energy is equally distributed for all frequencies and thus the power spectrum is flat, while a random walk (i.e., differences between consecutive samples represent white noise) shows a slope of $\beta = 2$ (Brownian or red noise). Noise with a spectral slope between 1 and 2 is often referred to as pink noise. The $1/f^\beta$ noise has an autocorrelation that decays so slowly that its sum does not converge to a finite number (Fortuna et al., 2014). Specifically, the autocorrelation is governed by a power law function, $C(k) = |k| - \gamma$, with γ between 0 and 1, and k being the lag. The log-log power spectrum of a $1/f^\beta$ process is linear with slope β . Another interesting feature of the $1/f^\beta$ process is that it is self-similar, i.e. the statistical properties of the time series are the same regardless of the scale of measurement, and hence the process lacks a characteristic time scale.

Continuous wavelet analysis (CWT)

The ubiquitous property of weather data is that they are nonstationary, i.e. the statistical properties change in time. While the dominant reason for the non-stationarity of the wind speed is the annual, semi-annual and diurnal variation of incoming solar radiation (Fiedler et al., 1970), the classical Fourier analysis provides only global information on the frequency content and hence the time localization of a specific frequency is lost in the analytical process (Onderka et al., 2013). Meteorological applications of the continuous wavelet transform (CWT) are relatively recent. Wavelets were first introduced in the geophysical sciences by Grossmann and Morlet (1984) as a tool for analyzing seismic signals. The CWT expands a time series into a time-frequency space where oscillations can be seen in a highly intuitive way. A concise description of wavelet analysis

can be found in, for example, Farge (1992) or Torrence and Compo (1998). The main difference between the Fourier Transform and the Continuous Wavelet Transform is that wavelets are localized in both time and frequency. One can think of the difference also in terms of the Heisenberg Uncertainty principle, according to which, each wavelet reveals information about the temporal extent of the signal as well as about the frequency spectrum of the signal. The continuous wavelet transform (CWT) of a time series is essentially its convolution with the local basis functions, called ‘wavelets’ (Farge, 1992; Torrence and Compo, 1998).

The wavelet transform of a function $f(t)$ is defined as the integral transform:

$$Wf(\lambda, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \psi'_{\lambda,t}(u) du, \quad \lambda > 0, \quad (2)$$

where

$$\psi_{\lambda,t}(u) \equiv \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \psi\left(\frac{u-t}{\lambda}\right) \quad (3)$$

represents a family of functions called wavelets. The scale parameter λ determines the oscillatory frequency and the length of the wavelet, and t is the time parameter determining its shifting position (Avdakovic, 2011). $\psi'_{\lambda,t}(u)$ is the complex conjugate of $\psi_{\lambda,t}(u)$. Changing the value of λ affects the dilation ($\lambda > 1$) or contraction ($\lambda < 1$) of the function $\psi(t)$. Decreasing the parameter λ , the wavelet shrinks and takes only short time behavior of $f(t)$ into account and vice versa. Therefore the wavelet transform allows a flexible time-scale window image. The wavelet transform (Eq. 1) is called the continuous wavelet transform (abbreviated CWT) because the scale and time parameters λ and t assume continuous values (Kumar, 1997). It is important to note that $\psi_{\lambda,t}(u)$ has the same shape for all values of λ and also assumes that a wavelet function $\psi_0(t)$ depends on a non-dimensional time parameter t . For accepting $\psi_0(t)$ as a wavelet, this function must have zero mean and be localized in both time and frequency space (Farge, 1992). The Morlet wavelet, consisting of a plane wave modulated by a Gaussian (Torrence, 1997):

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{j\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2}, \quad (4)$$

where ω_0 is the non-dimensional frequency, here taken to be 6 to satisfy the admissibility condition and η is dimensionless time (Farge, 1992).

However, a bias naturally occurs at the beginning and at the end of the wavelet power spectrum because the wavelet is not completely localized in time (Torrence and Compo, 1998; Grinstead et al. 2004). Therefore, a cone of influence (COI) has been proposed to ignore the edge effects. The COI is an area in which the wavelet power caused by the poorly localized wavelet near the beginning and end of a time-series has dropped to e^{-2} of the wavelet power at the edge. This COI is visualized in the wavelet power spectra in Figure 4 through Figure 12 as areas with a faded intensity of colour.

RESULTS

We calculated the Fourier power spectra in order to estimate the spectral slope and to identify the crossover periods at which the power law scaling undergoes an abrupt change indicating two scaling regimes in the analyzed time series. The Fourier power spectra were calculated for wind speed and direction data separately for each of the nine stations. As wind direction is a circular variable indicated in angular degrees, we calculated the circular mean for two successive observations.

We identified two scaling regimes in the wind speed and wind direction data. The spectral slopes and the breakpoints were identified by two mutually independent techniques. First, we calculated the Fourier power spectra, fitted a two-line regression to the spectral powers in log-log scale and calculated the spectral slopes β_1 and β_2 for the two scaling regimes. The calculated spectral slopes and the breakpoints at which the slopes abruptly change are listed in Table 2 (for wind speed) and in Table 3 (for wind direction). The standard deviation of the estimated slopes is indicated next to the spectral slope estimates. The power spectra of wind speed and direction are plotted in Figure 2 and Figure 3. Generally, wind speed (Fig. 2) has steeper spectral slopes for periods below 4 days compared to wind direction data (Fig. 3).

The mesoscale slope for the period below the breakpoint is $\beta_1 \pm$ standard deviation, whereas above the breakpoint the power spectra become more uncorrelated with a spectral slope of $\beta_2 \pm$ standard deviation 2, which means the data above the breakpoint are likely white noise.

For example, in the case of the station C6, which is located an altitude of 2005 m a.s.l., the mesoscale spectral slope for periods below 2.8 days is 1.07 ± 0.088 (standard deviation), while above the breakpoint at 2.8 days the power spectra become more uncorrelated with a spectral slope of 0.269 ± 0.025 (standard deviation). The slope of 1.07 ± 0.088 (standard deviation) is steeper compared to other stations with their spectral slopes below the crossover periods around 0.8–0.9 (Tab. 2).

We did not find any statistically significant relationship between the spectral slope and station elevations. The average breakpoint in the power spectra of the wind speed scaling is 3.5 days (Tab. 2). The average spectral slopes are 0.887 for the first spectral region (below the breakpoint at 3.5 days) and 0.142 periods above 3.5 days.

In the case of wind direction data (Fig. 3 and Tab. 3), the spectral slopes are much flatter compared to those we see in the case of wind speed. The average spectral slope for all stations is 0.445, with the average breakpoint located at 17.7 days and with the lowest breakpoint at 4.2 days (Station C6) and the longest breakpoint at 66.5 days (Station C5). Also, the spectral slopes fitted to the power spectra at synoptic scales are very close to zero (with an average of 0.087), indicating white noise, or uncorrelated data for long periods. Station C5 appears to behave differently in terms of the breakpoint and the negative spectral slope of -0.127 ± 0.064 for periods above the breakpoint at 66.5 days. Note that this is an extremely large value for a breakpoint compared to the other stations.

Table 2. Wind speed. Full-scale Monte Carlo means for the spectral slopes and the breakpoint (BP). The associated standard deviations are indicated \pm st.dev.

Site	Elevation [m a.s.l.]	Breakpoint [days]	β_1	st.dev ₁	β_2	st.dev ₂
C1	185	3.1	0.880 \pm 0.110		0.136 \pm 0.028	
C2	133	4.9	0.849 \pm 0.065		0.067 \pm 0.023	
C3	176	2.3	0.902 \pm 0.286		0.256 \pm 0.037	
C4	163	4.9	0.838 \pm 0.166		0.024 \pm 0.046	
C5	703	3.1	0.794 \pm 0.147		0.144 \pm 0.030	
C6	2005	2.8	1.070 \pm 0.088		0.269 \pm 0.025	
C7	692	3.2	0.865 \pm 0.103		0.172 \pm 0.025	
C8	901	4.6	0.847 \pm 0.125		0.024 \pm 0.038	
C9	216	2.6	0.934 \pm 0.132		0.188 \pm 0.021	
Mean	575	3.5	0.887		0.142	

Figure 2. The individual Fourier power spectra of wind speed data (off-set by a constant to allow stacking the spectra). A noticeable scaling break is apparent in the spectra around 4.4 days (Tab. 2). The mean of the scaling exponents for the spectral regions below the breakpoint (mesoscales) is 0.88. Note that the abscissa is indicated as decadal logarithm, so the breakpoints listed in Table 2 are located between 0.36 and 0.69 on the log scale.

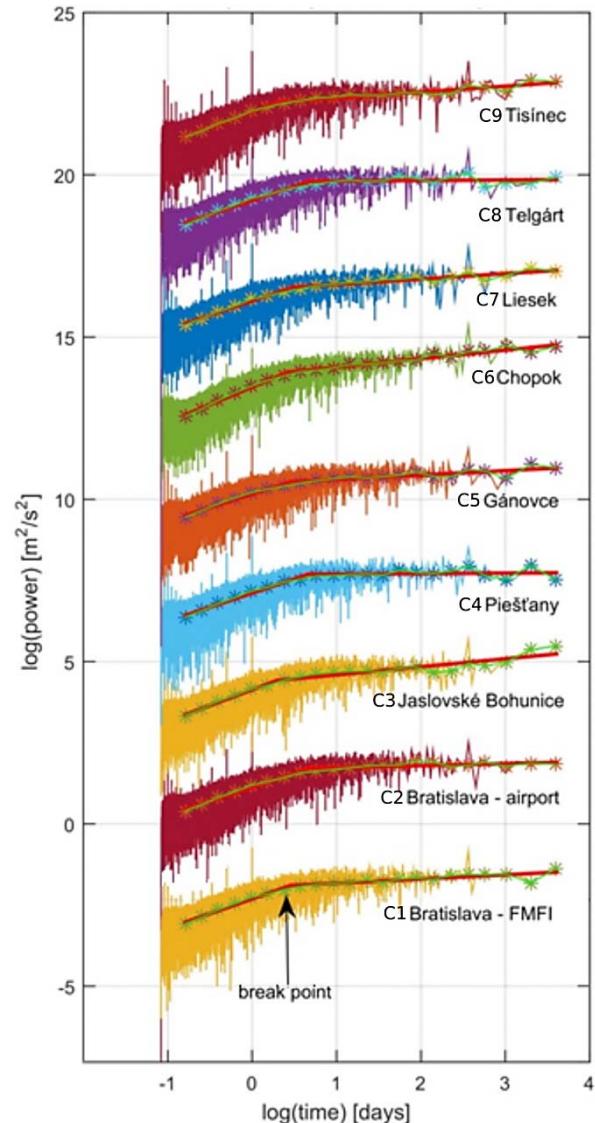
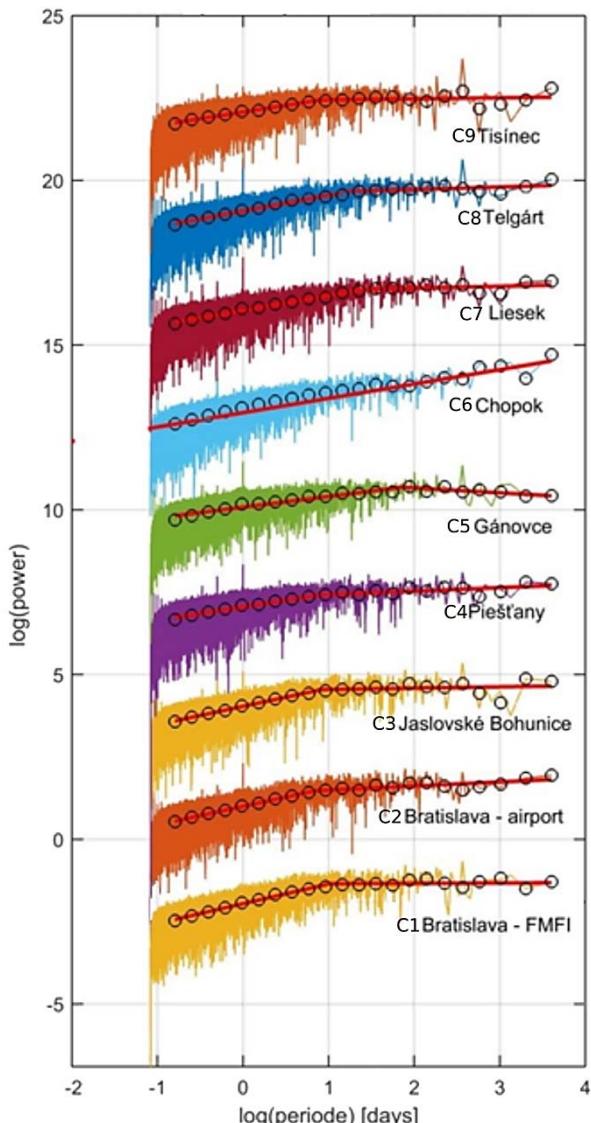


Table 3. Wind direction. Full-scale Monte Carlo means for the spectral slopes and the breakpoint. The associated standard deviations are indicated \pm st.dev.

Site	Elevation [m a.s.l.]	Breakpoint [days]	β_1	st.dev. ₁	β_2	st.dev. ₂
C1	185	10.5	0.587 \pm 0.062		0.021 \pm 0.036	
C2	133	7.5	0.538 \pm 0.096		0.133 \pm 0.035	
C3	176	9.4	0.506 \pm 0.237		0.061 \pm 0.081	
C4	163	9.5	0.388 \pm 0.113		0.108 \pm 0.042	
C5	703	66.5	0.322 \pm 0.029		-0.127 \pm 0.064	
C6	2005	4.2	0.475 \pm 0.289		0.365 \pm 0.040	
C7	692	20.9	0.437 \pm 0.067		0.082 \pm 0.056	
C8	901	25.2	0.406 \pm 0.062		0.092 \pm 0.049	
C9	216	5.6	0.351 \pm 0.247		0.042 \pm 0.076	
Mean	575	17.7	0.445		0.086	

Figure 3. The individual Fourier power spectra of wind direction data (off-set by a constant to allow stacking of the spectra). A noticeable scaling break is apparent in the spectra around 16.2 days (Tab. 3). The mean of the scaling exponents for the spectral regions below the breakpoint (mesoscales) is 0.44. Note that the abscissa is indicated as decadal logarithm, so the breakpoints listed in Table 3 are located between 0.62 and 1.82 on the log scale.



Finally, the wavelet spectrograms facilitate our understanding of how various frequency contents in the analyzed signals of wind speed and direction change in time. In a wavelet spectrogram the x-axis represents a position along the signal (time), the y-axis represents scale, and the colour at each point represents the magnitude of the coefficient. Figures 4 through 12 show that the diurnal signal corresponding to wavelet scales of approximately 0.7–1.3 days is present for most of the stations, especially in the wind speed data however, some stations (Station C6) have a rather suppressed diurnal cycle. The diurnal cycle is apparent in all other stations. However, the diurnal signal seems to be intermittent, i.e. it diminished in the winter months (November–February) and becomes more pronounced from March to October. It is known that the diurnal cycle originates in the transfer of energy from solar radiation during the daytime, which makes the wind speed increase, and the consecutive cooling and loss of energy during the night time then reduces the wind speed.

DISCUSSION

We identified two distinct scaling regimes in the analyzed time series of wind speed and wind direction data. The spectral slopes and the breakpoints in scaling were quantified by the Fast Fourier Transform and visualized by the Continuous Wavelet Transform. The analyses revealed that wind data at the analyzed sites fluctuate persistently with long term correlations. Within mesoscales, the average spectral slope of wind speed was $\beta_1 = 0.887$ and $\beta_1 = 0.445$ for wind direction data. The spectral slopes indicate that the time series can be described as pink noise. In both the speed and direction records we identified two scaling regimes (mesoscale and synoptic) described by distinct spectral slopes changing at breakpoints. Vinnichenko (1970) separated the power spectra of wind speed into three major regions separated by gaps: a sharp annual maximum, a synoptic (or macroscale) maximum at periods from 1–2 months to 3–4 days, and a microscale maximum with periods in the range of minutes. The CWT spectra (Fig. 4 through Fig. 12) confirm the presence of these three distinct spectral regions in the scalograms. The mesoscale is characterized by the diurnal (24 h) and semidiurnal (12 h) periods in the wind speed time series. An intermittent spectral gap appears between the mesoscale diurnal components and the synoptic scales extending from a few days to several months (up to the annual cycle). Similar spectral gaps were also observed by Fiedler et al. (1970). However, we found that the breakpoint occurs earlier in the case of wind speed (on average at 4.4 days) than in the case of wind direction where the crossover occurred at 16 days. Our results are consistent with the findings of Fiedler et al. (1970) and the more recent study work of de Figueirêdo et al. (2014) who investigated the multifractal behavior of average and maximum wind speed date in Brazil. The breakpoints identified in the sets of wind direction series are more variable compared to the wind speed series (Tab. 2).

At synoptic scales longer than the breakpoint, the power spectra of the analyzed records show properties of white noise, i.e. the time series are almost uncorrelated in time. The locations of the breakpoint in scaling and the spectral slope have important implications for stochastic autocorrelation models. Finally, by means of the Continuous Wavelet Transform we show that the wind speed and wind direction data are intermittent on daily scales and that wind speed data exhibit intermittent diurnal cycles more strongly from spring to autumn, which can be explained by more pronounced convective heating of the ground. Spectral gaps between the diurnal cycles and the synoptic scales are clearly visible in the wavelet spectrograms.

Wind speed and direction are uncontrollable natural processes and hence are not so easily predictable. Therefore, knowing how these two wind characteristics behave on meso- and synoptic scales can help reduce strong fluctuations of energy from wind power in the electric grid. Still, the biggest challenge in integrating wind power into the electric grid are the temporal and spatial variabilities of wind (Bakker and Hurk, 2012; Leahy and McKeogh, 2013; Calif and Schmitt, 2014). Storing the surplus of energy that has been produced from wind farms seems to provide a good solution to this problem. The results of our study have the potential to determine the storage capacity as a function of the temporal scaling behavior of wind.

CONCLUSIONS

This is the first time that spectral properties of wind velocity have been analyzed together with wind direction data. For our data from central Europe (Slovakia), we identified the onset of the effects induced by synoptic processes to be within a few days in both the wind speed and direction time series. The locations of the breakpoint in scaling and the spectral slope have important implications for stochastic autocorrelation models. This implies that autocorrelation techniques can be used to forecast wind speed and direction data for a couple of days in advance. This has important implications for the design of wind energy storage systems. Finally, by means of the Continuous Wavelet Transform we show that the wind speed and wind direction data are intermittent on daily scales and that wind speed data exhibit intermittent diurnal cycles preferentially from spring to autumn. Spectral gaps between the diurnal cycles and the synoptic scales are clearly visible in the wavelet spectrograms. Despite our initial expectations, we did not find any apparent relationship between the scaling behaviour of the analyzed data with the altitude. However, more high-resolution data from more stations may be needed to prove a correlation between geographic features such as site elevation and the scaling behavior of wind speed in Slovakia. Finally, it would be interesting for the future research to extend analyses to the scaling regime and multifractal behavior of maximum wind speed data.

Figure 4. Station C1 (Bratislava–FMFI UK), Wavelet power spectra [$\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).

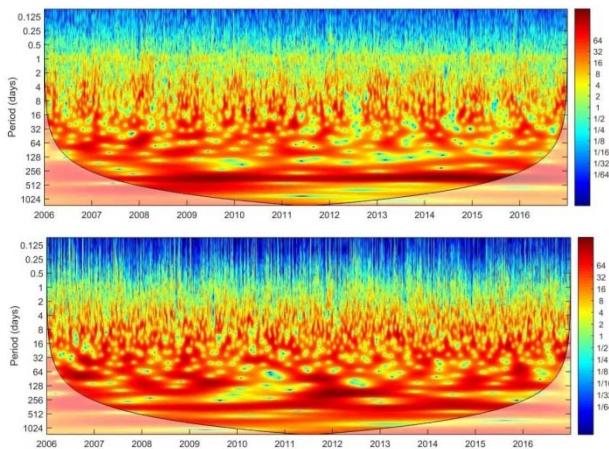


Figure 5. Station C2 (Bratislava-airport), Wavelet power spectra [$\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure). A brief gap in the time-series is visible in the period 2010–2011.

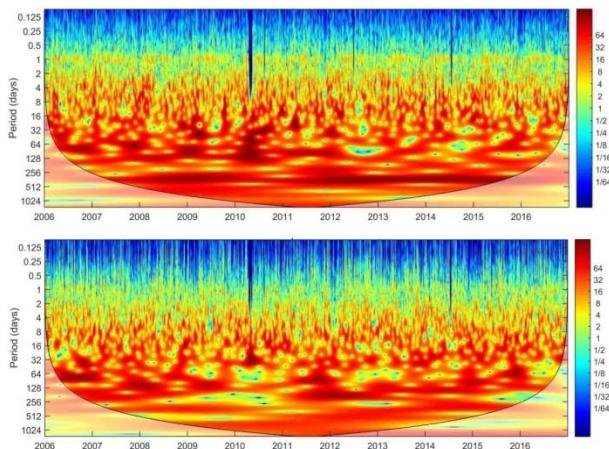


Figure 6. Station C3 (Jaslovské Bohunice), Wavelet power spectra [$\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).

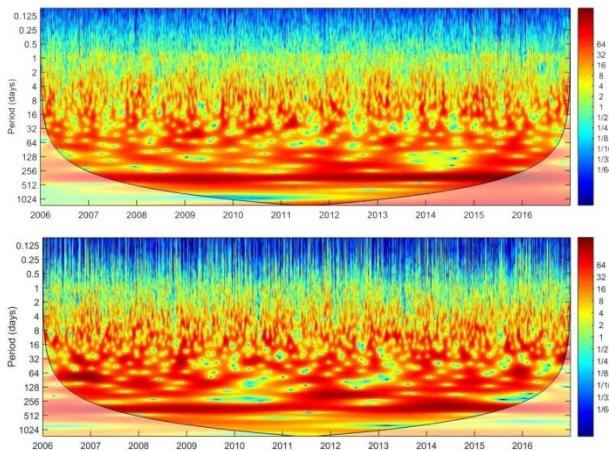


Figure 7. Station C4 (Piešťany) – Wavelet power spectra [$m^2 \cdot sec^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).

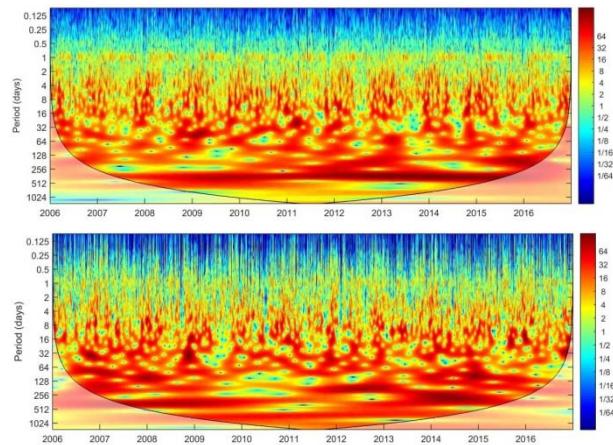


Figure 8. Station C5 (Gánovce), Wavelet power spectra [$m^2 \cdot sec^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).

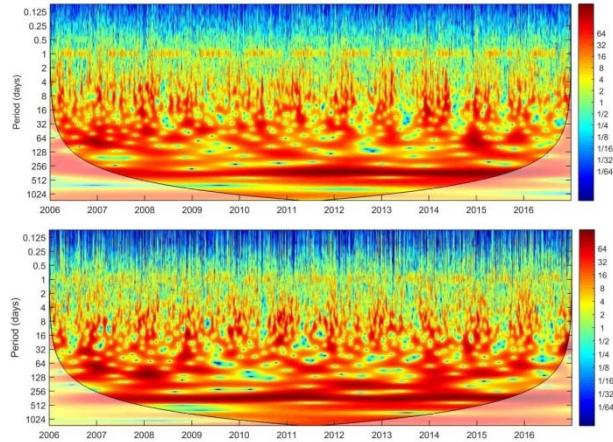


Figure 9. Station C6 (Chopok) – Wavelet power spectra [$m^2 \cdot sec^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure). The dark patches between 2012–2013 and 2015–2016 are caused by gap in the times series that was interpolated. Several brief gaps in the time-series is visible in 2009–2010, 2012 and 2015.

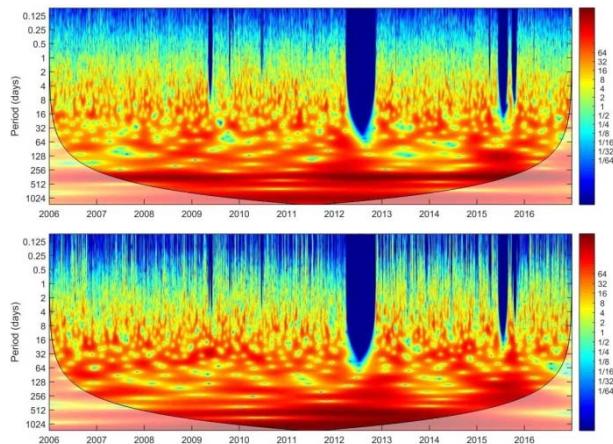


Figure 10. Station C7 (Liesek) – Wavelet power spectra [$m^2 \cdot sec^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).

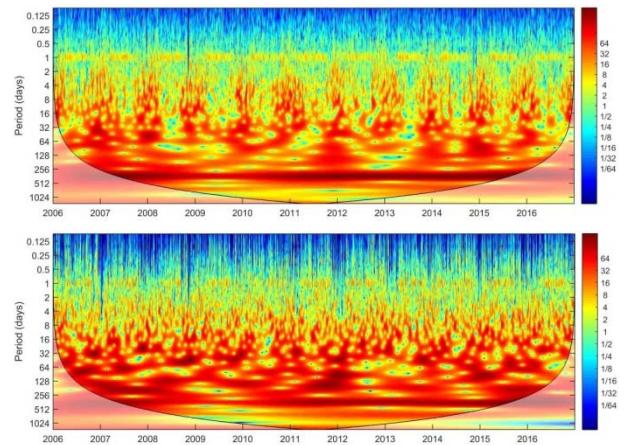


Figure 11. Station C8 (Telgárt) – Wavelet power spectra [$m^2 \cdot sec^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).

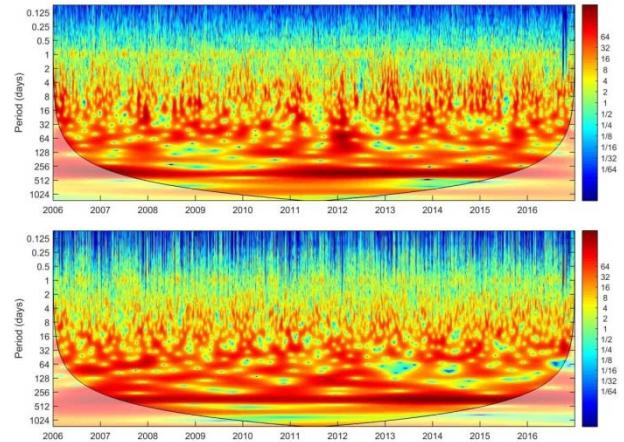
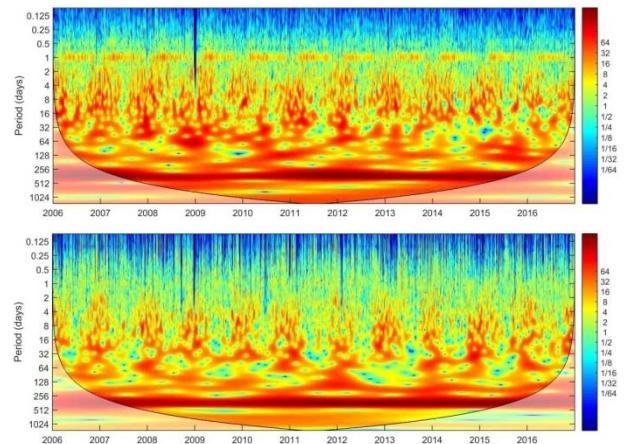


Figure 12. Station C9 (Tisinec) – Wavelet power spectra [$m^2 \cdot sec^{-2}$] of (a) wind speed (upper figure); (b) wind direction (lower figure).



REFERENCES

- Alam, M.M.–Rehman, S.–Al-Hadhrami, L.–Meyer, J., 2014, Extraction of the inherent nature of wind speed using wavelets and FFT. *Energy Sust. Dev.*, 22: 34–37, doi: 10.1016/j.esd.2014.02.004.
- Avdakovic, S.–Lukac, A.–Nuhanovic, A.–Music, M., 2011, Wind speed data analysis using wavelet transform. *Int. J. Environ. Chem. Ecol. Geol. Geophys. Eng.*, 7(3): 138–142.
- Bakker, A.M.R.–van den Hurk, B.J.J.M., 2012, Estimation of persistence and trends in geostrophic wind speed for the assessment of wind energy yields in northwest Europe. *Clim. Dyn.*, 39: 767–782, doi: 10.1007/s00382-011-1248-1.
- Calif, R.–Schmitt, F.G., 2014, Multiscaling and joint multi-scaling description of the atmospheric wind speed and the aggregate power from a wind farm. *Nonlin. Proc. Geophys.*, 21: 379–392.
- de Araujo Lima, L.–Bezerra Filho, C.R., 2010, Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo-Pernambuco Brazil. *Renew. Energy*, 35: 2705–2713.
- de Araujo Lima, L.–Bezerra Filho, C.R., 2012, Wind resource evaluation in São João do Cariri (SJC) – Paraíba, Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16: 474–480.
- de Figueirêdo, B.C.L.–Moreira, G.R.–Stosic, B.–Stosic, T., 2014, Multifractal analysis of hourly wind speed records in Pernambuco, Northeast Brazil. *Rev. Bras. Biom.*, 32: 599–608.
- de Oliveira Santos, M.–Stosic, T.–Stosic, B., 2012, Long-term correlations in hourly wind speed records in Pernambuco, Brazil. *Phys. A*, 391: 1546–1552.
- Farge, M., 1992, Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 24(1): 395–458.
- Fiedler, F.–Panofsky, H.A., 1970, Atmospheric scales and spectral gaps. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 51(12): 1114–1120.
- Fisher, N.I., 1995, Statistical analysis of circular data. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Fortuna, L.–Nunnari, S.–Guariso, G., 2014, Fractal order evidences in wind speed time series, International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications, Catania, 2014, 1–6. doi: 10.1109/ICFDA.2014.6967450.
- Govindan, R.B.–Kantz, H., 2004, Long-term correlations and multifractality in surface wind speed. *Europhys. Lett.*, 6(2): 184–190.
- Grinsted, A.–Moore, J.C.–Jevrejeva, S., 2004, Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlin. Proc. Geophys.*, 11(5/6): 561–566.
- Korkmaza, F.M.–Koçak, K., 2017, Climatology of wind speed persistence over Turkey. *Int. J. Climatol.*, 38: 95–98, doi: 10.1002/joc.5353.
- Kumar, P. et al., 1997, Wavelet analysis for geophysical applications. *Rev. Geophysics*, 4(35): 385–412.
- Larsén, X.G. et al., 2016, Full spectrum of the boundary layer wind. *Boundary-Layer Meteorology*, 159(2): 349–371.
- Leahy, P.G.–McKeogh, E.J., 2013, Persistence of low wind speed conditions and implications for wind power variability. *Wind Energy*, 16: 575–586.
- Onderka, M.–Mráfkova, L.–Krein, A.–Hoffmann, L., 2011, Long-term persistence of stream nitrate concentrations (memory effect) inferred from spectral analysis and detrended fluctuation analysis. *Water Air and Soil Pollution*, 223(1): 241–252.
- Onderka, M. et al., 2013, Seepage velocities derived from thermal records using wavelet analysis. *Journal of hydrology*, 479: 64–74.
- Pimenta, F.–Kempton, W.–Gavine, R., 2008, Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of southeastern Brazil. *Renew. Energy*, 33: 2375–2387.
- Shipkovs, P.–Bezrukov, V.–Pugachev, V.–Bezrukova, V.–Silutins, V., 2013, Research of the wind energy resource distribution in the Baltic region. *Renew. Energy*, 49: 119–123.
- Telesca, L.–Lovallo, M., 2011, Analysis of the time dynamics in wind records by means of multifractal detrended fluctuation analysis and the Fisher–Shannon information plane. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2011(07), P07001.
- Torrence, C.–Compo, G. P., 1998, A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79.1: 61–78.
- Vinnichenko, N.K., 1970, The kinetic energy spectrum in the free atmosphere—1 second to 5 years. *Tellus*, 22: 158–166.
- Zar, J.H., 1999, Biostatistical analysis. Prentice Hall.

THE AUSTRIAN UV-MONITORING NETWORK

MARIO BLUMTHALER¹, BARBARA KLOTZ¹, MICHAEL SCHWARZMANN¹, JOSEF SCHREDER²

¹ Division for Biomedical Physics, Medical University Innsbruck, 6020 Innsbruck, Austria

² CMS Ing. Dr. Schreder GmbH, 6322 Kirchbichl, Austria

Since 1998 the Austrian UV monitoring network has been operational, consisting nowadays of 13 measurement sites distributed all over Austria to cover urban and rural sites over the altitudes ranging between 153 m and 3106 m above sea level. The stations are equipped with broadband UV detectors to measure erythemally weighted UV irradiance. Every 10 minutes the raw data are transferred to Innsbruck for data processing and evaluation of the UV Index. Once per year all detectors are calibrated at the calibration centre in Kirchbichl in terms of the relative spectral response and the absolute sensitivity. The result of the calibration is a calibration matrix for each detector, dependent on solar elevation and total ozone content. The results of the measurements are presented in near real time on the website www.uv-index.at. In addition, every 15 minutes a map of the distribution of the UV Index over Austria is published, which is based on the measurements at the sites and combined with cloud information derived from the Meteosat satellite. No significant long-term trend can be derived from the UV measurements for any station, which is in agreement with the observed variability of total ozone for respective geographical locations and time period 1998–2014.

Siel' prístrojov na monitorovanie slnečného UV žiarenia je v činnosti od roku 1998. V súčasnosti sa merania vykonávajú v 13 lokalitách rozložených po celom Rakúsku, ktoré reprezentujú tak mestské ako aj vidiecke oblasti s výškovým rozsahom od 153 po 3106 m n.m. Stanice sú vybavené širokopásmovejmi detektormi na meranie slnečného UV žiarenia s erytémovým účinkom. Údaje sú každých 10 min prenášané do centra na ich spracovanie a vyhodnotenie UV-indexu, ktoré je v Innsbruku. Každý snímač je raz ročne kalibrovaný v kalibráčnom centre v meste Kirchbichl, kde sa určuje tak relatívna spektrálna citlivosť, ako aj absolútная citlivosť snímačov. Výsledkom kalibrácie každého snímača je kalibráčná matica vyjadrujúca závislosť kalibráčného faktora od výšky slnka a celkového ozónu. Lokálne merania sú takmer v aktuálnom čase prezentované na internetovej stránke www.uv-index.at. Okrem toho je každých 15 min zobrazované priestorové rozloženie UV indexu v oblasti Rakúska v mapovej forme, ktoré vychádza z kombinácie meraní UV žiarenia a informácie o rozložení oblačnosti z družice METEOSAT. Za obdobie 1998–2014 neboli pre žiadnu stanicu zistené štatisticky významné trendy UV žiarenia, čo je v súlade s meranou variabilitou celkového ozónu v jednotlivých geografických lokalitách.

Key words: UV Index, monitoring, near real time presentation, regional map, long-term trend

INTRODUCTION

The first pilot study started to investigate the possibility and necessity of a network with UV detectors to acquire information on the local and temporal distribution of the UV Index (WHO, 2002) all over Austria in 1996. The project is supported by the Austrian Governmental Department for Environment. The first 2 years were followed by a first operational phase lasting for 10 years, when 10 stations were in operation. The second phase started in 2009, took again for 10 years with nowadays 13 stations in Austria. Broadband radiometers were selected as detectors, which can measure directly the erythemally weighted solar irradiance. The website www.uv-index.at was established for information on the actual levels of erythemally weighted UV irradiance over Austria for the public.

DATA AND METHODS

The sites of the measurement were selected to cover urban and rural areas and the altitude range in Austria (Tab. 1). The stations are operated by various project partners, who take care of the regular maintenance at the sites. In addition to the 13 sites in Austria also 6 stations in the neighbouring

countries are contributing to the network, as they follow the same strict rules for calibration, quality assurance and data transmission.

Table 1. Sites of the UV network in Austria and in the neighbouring countries.

Site	Altitude	Local operator
Wien	153 m	Univ. Veterinary Medicine, Vienna
Großenzersdorf	156 m	BOKU, Vienna
Bad Vöslau	286 m	Environment Agency Austria
Steyregg/Linz	335 m	Environment Agency Austria
Graz	348 m	Environment Agency Austria
Dornbirn	410 m	ZAMG
Klagenfurt	448 m	ZAMG
Kirchbichl	526 m	CMS Ing. Dr. Schreder GmbH
Innsbruck	577 m	ZAMG
Mariapfarr	1153 m	ZAMG
Kanzelhöhe	1526 m	Univ. Graz
Hafelekar	2275 m	Medical Univ. Innsbruck
Sonnblick	3106 m	BOKU, Vienna
Leifers/Bozen,I	230 m	Environment Agency, Bozen
München, D	530 m	Univ. Munich
Davos, CH	1610 m	PMOD
Ritten, I	1770 m	Environment Agency, Bozen
Weissfluhjoch, CH	2540 m	PMOD
Zugspitze, D	2660 m	Univ. Munich

Acronyms: BOKU - Univ. für Bodenkultur

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

PMOD - Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos

I - Italy; D - Germany, CH - Switzerland

The detectors installed in the Austrian UV monitoring network are Biometers Model 501A from Solar Light Company Inc., USA. They have a spectral sensitivity close to the sensitivity of the human skin for the erythema (McKinlay and Diffey, 1987), which covers the UVB but also the UVA wavelength range.

Due to small differences between sensitivity of the detector and the standardized erythemal action spectrum it is necessary to correct every individual reading of the detectors. The corrections depend on solar elevation (derived from known time and coordinates of the measurement site) and actual total ozone content (taken from the ozone forecast from the National Oceanic and Atmospheric Administration Global Forecast System (NOAA-GFS). Therefore, the calibration does not result in a simple conversion factor but in a matrix, dependent on solar elevation and total ozone content. The calibration matrix is determined from the annual calibration of each detector at the calibration centre in Kirchbichl. There the relative spectral response is measured in the laboratory using a tuneable spectral radiation source in the wavelength range from 280 nm to 400 nm. Then the absolute sensitivity of the broadband detectors is determined outdoor by comparison with spectral measurements of a double monochromator spectroradiometer operated side by side to the broadband detectors. The absolute calibration of the spectroradiometer is based on frequent measurements of a 1000 W halogen lamp. The irradiance output of this lamp is traceable to the Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig, Germany. About every 5 years, the spectroradiometer is compared to a travelling standard spectroradiometer operated by the UV reference laboratory of the World Meteorological Organization at the World Radiation Centre Davos, Switzerland. The agreement between our spectroradiometer and the reference instrument was always better than 3%. Therefore we estimate that the uncertainty of the absolute calibration of the broadband detectors of the network is about 5%. This is also verified by a recent recalibration of one of our broadband detectors at the World Radiation Centre in Davos, Switzerland.

During the last 20 years of operation of the broadband detectors it was found that the stability of the calibration is very variable between the instruments. Several detectors do not change by more than 3% from one year to the next, however others show variations of more than 10%. As consequence of these instabilities we think that the high frequency of recalibrations every year is necessary to guarantee the desired accuracy of measurements.

The angular response of all detectors of the network is checked every 5 years in order to avoid uncertainties due to changes of so-called “cosine error”.

The measured raw data from all stations are regularly transferred via FTP to the central data server in Innsbruck every 10 minutes. Then the calibration matrix for each detector is applied and the UV Index is determined.

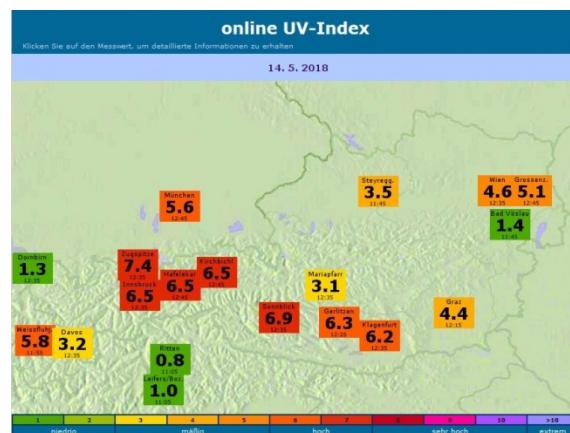
As a further tool for quality assurance the UV Index is compared with clear sky model calculations to detect outliers and eliminate them. The radiative transfer model

LibRadtran (Mayer and Kylling, 2005) is run with total ozone forecast from the NOAA, climatological aerosol optical depth and albedo estimated from snow height information.

RESULTS AND DISCUSSION

The determined UV Index from each station is immediately published on the website www.uv-index.at (Fig. 1). Additionally, the temporal variation of the UV Index during the day at each station is displayed, together with a history of the last day, the last week, the last month and the last year. Furthermore, a climatology is presented based on all available measurements for each site showing the monthly mean and the maximal observed UV Index.

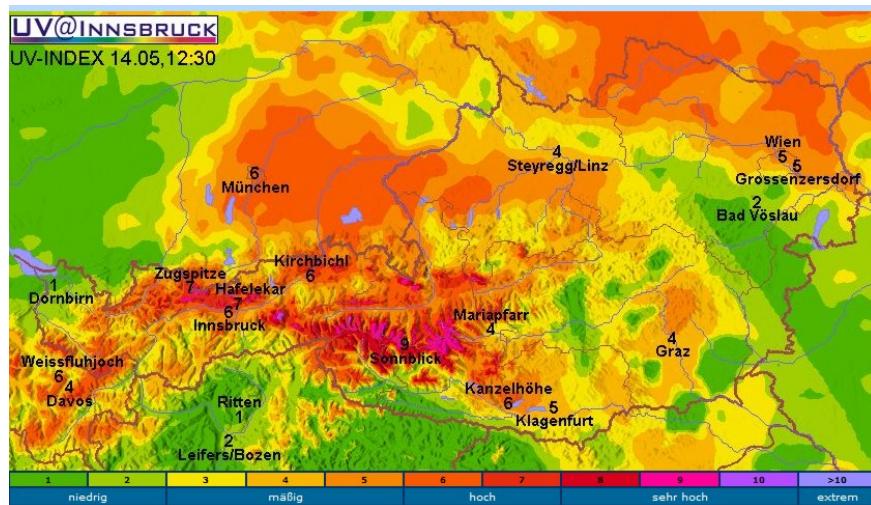
Figure 1. Actual levels of the UV Index at all stations of the UV network, updated every 5 minutes (example for 14. 5. 2018, close to noon time).



In an additional figure on the website the regional distribution of the UV Index over the Eastern Alps is shown (Fig. 2). These maps are calculated every 15 minutes. They are based on the measurements at the observation sites and on a clear sky radiative transfer model calculation for each pixel, taking into account its altitude above sea level. In the next step of the calculation the clear sky irradiance is reduced by a cloud attenuation factor, which is derived from distribution and density of clouds seen on the actual satellite picture of Meteosat (Schallhart et al., 2008). The variation of the map over the day can be viewed by an animated sequence of the maps from every 15 minutes.

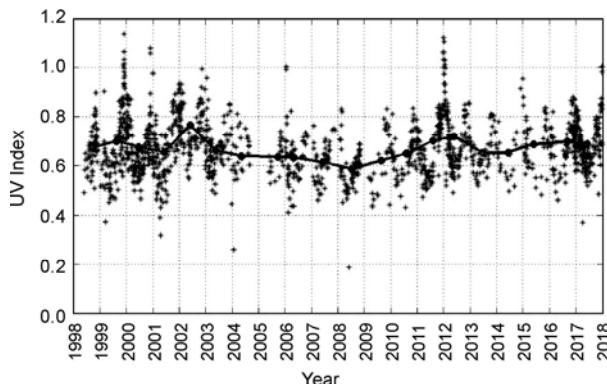
The long-term measurements allow analysis of trends in the UV Index. Clear-sky conditions were selected by comparing simultaneous measurements of global solar radiation with a clear-sky model. The variation of the UV Index at a fixed solar elevation does not show any significant trend in Innsbruck (Fig. 3) for the time period 1998 to 2014. A similar result was found for all other stations of the network. This result is in agreement with the expectations, because no significant trend for the total amount of ozone is observed for the respective locations and time period.

Figure 2.
Actual map of the UV Index distribution over the Eastern Alps, updated every 15 minutes (example for 14. 5. 2018, 12:30 summer time).



The seasonal variability seen in Figure 3 is a consequence of typical seasonal variability of total ozone amount at the latitude zone of Austria with minimal levels of ozone in autumn and maximal ones in spring. Furthermore, the level of the UV Index can be enlarged especially in January due to a snow cover in Innsbruck.

Figure 3. Long-term variability of the UV Index in Innsbruck at 19° solar elevation under clear sky conditions (black stars), the annual mean is shown with black dots.



When all measured data at the same solar elevation irrespective of the cloudiness were analysed, again no significant trends were found. This indicates that also the average cloudiness did not change significantly during the observation period. This holds for all stations of the network.

CONCLUSIONS

The Austrian UV monitoring network allows to get information on the actual level of the UV Index for every place in Austria in nearly real time. This is the prerequisite for meaningful control of the personal UV exposure. On the one hand this is important to avoid the negative effects of overexposure, which range from local erythema to skin cancer as the long-term consequence. On the other hand,

reasonable low-level exposure to solar UVB radiation has the important positive effect on a healthy vitamin D status.

The high quality of the long-term measurements of the UV Index in Austria is the basis for scientific analyses. It enables analyses with respect to long-term variability, which is necessary for verification of the effect of the expected recovery of the ozone layer in the next decades (WMO, 2014). Also scientific investigations about the quantitative relation between the UV Index and ozone variations (Blumthaler et al., 2017), variations of the aerosol load and variations of the albedo or dependence on altitude can be carried out.

Acknowledgements

The Austrian UV monitoring network is financially supported by the Austrian Governmental Department for the Environment (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus).

REFERENCES

- Blumthaler M.–Klotz, B.–Schwarzmann, M.–Schreder, J., 2017, *The Austrian UV monitoring network*, AIP Conference Proceedings 1810, 110001, <http://doi.org/10.1063/1.4975563>.
- Mayer, B.–Kylling, A., 2005, Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1855–1877, doi:10.5194/acp-5-1855-2005.
- McKinlay, A.–Diffey, B.L., 1987, A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, *Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Journal* 6, 17–22.
- Schallhart B.–Blumthaler, M.–Schreder, J.–Verdebout, J., 2008, A method to generate near real time UV-Index maps of Austria, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 7483–7491.
- WHO (World Health Organization), 2002, *Global Solar UV Index: A Practical Guide*, ISBN92 4 159007 6, Geneva.
- WMO (World Meteorological Organization), 2014, *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, Global Ozone Research and monitoring Project – Report No. 55*, Geneva, Switzerland.

HODNOTENIE KONTINENTALITY PODNEBIA VO VZŤAHU K RADIAČNÝM FAKTOROM

MIRIAM JANUŠKOVÁ

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 17 Bratislava, Odbor Meteorologické predpovede a výstrahy,
miriam.januskova@gmail.com

The article analyses climate continentality and also proposes a brand new method of evaluating the thermic continentality. This new method is based on time delay analysis of the annual course of air temperature in relation to the annual course of extra-terrestrial radiation in a given latitude. The longer the delay of both annual courses, the higher the continentality is for the area. The new method was coined index E. The climate continentality was evaluated by new as well as other established methods for evaluating thermic and ombric continentality. In the article monthly air temperature and averages rainfall data were used for the normals period spanning from 1961 to 1990 collected from 276 European meteorological stations and other 1070 stations around the world. The importance lies in verification of the relevancy of the new method and an objective evaluation of its benefits determined by comparison of various established methods for evaluating thermic and ombric continentality. By using the regressive and correlative analysis the article proves a closer relationship between the newly purposed thermic continentality index and the established Hrudicka's index in comparison to the most popular Gorczynski thermic continentality index.

Článok analyzuje kontinentalitu podnebia a predstavuje celkom novú metódu hodnotenia termickej kontinentality. Táto nová metóda je založená na skúmaní časového posunu ročného priebehu teploty vzduchu za ročným priebehom súm extraterestrického žiarenia v danej zemepisnej šírke. Čím je menšia odchýlka oboch priebehov (menší časový posun), tým dané miesto vykazuje väčšiu kontinentalitu. Nová metóda bola nazvaná index E. Kontinentalita podnebia bola vyhodnotená podľa novej, ale aj podľa zaužívaných metód hodnotenia termickej aj ombrickej kontinentality. V článku boli použité dátá mesačných priemerov teploty vzduchu a mesačných priemerov úhrnu atmosférických zrážok za normállové obdobie 1961 až 1990 z 276 staníc Európy a 1070 staníc z celého sveta. Dôležité je praktické overenie novej metódy a objektívne posúdenie jej prínosu na základe vzájomného porovnania výsledkov rôznych existujúcich prístupov merania termickej aj ombrickej kontinentality. Pomocou regresnej a korelačnej analýzy je dokázaný tesnejší vzťah medzi novonavrhnutým indexom termickej kontinentality a existujúcim ombrickým Hrudičkovým indexom, v porovnaní s doposiaľ najpoužívanejším Gorczynského indexom termickej kontinentality.

Key words: thermic continentality, ombric continentality, index E, extra-terrestrial radiation, methods in climatology

ÚVOD

Kontinentalitu podnebia meríame použitím indexov na hodnotenie mieri ovplyvnenia daného podnebia oceánom alebo pevninou. Keďže v pobrežných oblastiach všeobecne prevláda morská (oceánska) klíma a vo vnútrozemských zas pevninská, sú aj v ich charakteristike značné rozdiely. Táto miera rozdielu medzi kontinentálnou a morskou klímom je väčšinou charakterizovaná väčšou amplitúdou teploty vzduchu. Tento rozdiel je dôsledkom oveľa nižšej tepelnej kapacity pevniny oproti oceánu, ako aj všeobecne nižšou intenzitou odparovania na súši. Kontinentálne oblasti, ktoré sú ďaleko od zdroja vlhkosti, majú kvôli zniženej dostupnosti vodných párov menšiu tendenciu rozvoja oblakov. Pri bezoblačnej oblohe slnečné žiarenie cez deň rýchlejšie ohrieva zemský povrch, naopak v noci sa pevnina ochladzuje rýchlejšie. (Chromov, 1968) A keďže na vnútrozemské oblasti už nepôsobí vlhká oceánska klíma, otepľovanie alebo ochladzovanie pevniny tu viac závisí od množstva dopadajúceho slnečného žiarenia a schopnosti povrchu viesť teplo.

Na kontinentalitu podnebia nemá vplyv len vzdialenosť od mora, ale aj zemepisná šírka, nadmorská výška, okolité morské prúdy a typy krajiny (horský, nížinný, kottedžový), pričom je dôležité ich vzájomné usporiadanie. Stupeň kontinentality ovplyvňuje tiež všeobecná cirkulácia atmosféry, od ktorej závisí smer prenosu vzduchových hmôt morského (oceánskeho) alebo kontinentálneho pôvodu. Preto je aj kontinentalita charakterizovaná ako následok stavu transformácie vzduchových hmôt vyskytujúcich sa nad daným miestom pri ich prenose od mora nad pevninu alebo naopak. Najväčší účinok kontinentality sa prejavuje v miernych zemepisných šírkach (Kveták, 1982).

Indexy kontinentality

Určovaním stupňa (indexu) kontinentality sa zaoberala už mnoho vedcov, ktorí vynášli rôzne metódy a vzorce na jej určenie. Stupeň alebo aj indexom kontinentality podnebia je hodnota, ktorá udáva, akým podielom sa zúčastňuje klíma rýdzou pevninská na utváranie klímy určitej skúmanej oblasti (Hrudčík 1932, cit. v Sládeček J. 1955).

Najčastejšie sa hodnotí termická kontinentalita podľa veľkosti amplitúdy teploty vzduchu vydelená $\sin \varphi$ (zemepisnou šírkou) kvôli kompenzácií rozdielov intenzity letného a zimného slnečného žiarenia (Conrad and Polak, 1950). S najznámejším indexom termickej kontinentality prišiel Gorchynski (1920):

$$K = \frac{1,7A}{\sin \varphi} - 20,4,$$

kde

φ = zemepisná šírka,

A = amplitúda teploty vzduchu.

Podľa Driscolla a Yee Fonga (1992) je ale použitie $\sin \varphi$ na kompenzáciu sezónnych rozdielov v žiareni nevhodné. Ich výskum ukazuje, že slnečné žiarenie sa nezvyšuje rovnomerne so vzdialenosťou od rovníka, ale maximálnu hodnotu dosahuje pri 55°N , a preto priebeh slnečného žiarenia v závislosti od zemepisnej šírky nezodpovedá $\sin \varphi$.

Kontinentalita podnebia sa môže merať ale aj podľa atmosférických zrážok, vtedy hovoríme o ombrickej kontinentalite. Podobne ako pri termickej kontinentalite môžeme použiť ročnú amplitúdu atmosférických zrážok, alebo pomer letných a zimných zrážok počas roka. V kontinentálnom podnebí prevládajú zrážkové maximá v letnom polroku a v oceánickom podnebí sú zrážkové maximá v zimnom polroku. Hrudička napríklad navrhla index ombrickej kontinentality:

$$K = \frac{12 * (l - 35)}{\sqrt{sz}},$$

kde

l = percento letných atmosférických zrážok,

sz = množstvo atmosférických zrážok v zimnom polroku vyjadrené v milimetroch) (Nosek, 1972).

Nový spôsob hodnotenia kontinentality

V tomto článku je predstavený novonavrhnutý index termickej kontinentality. Nová metóda je založená na skúmaní časového posunu ročného priebehu teploty vzduchu a ročného priebehu súm extraterestrického žiarenia. Miera kontinentality podľa novej metódy sa nazýva index E.

Na zhodnotenie kontinentality podľa nového aj zaužívaných indexov boli použité dátá mesačných priemerov teploty vzduchu a mesačné priemery úhrnu atmosférických zrážok za normálové obdobie 1961 až 1990 z 276 staníc Európy a 1070 staníc z celého sveta, z nemeckého serveru Deutscher Wetterdienst (DWD) Wetter und Klima aus einter Hand.

Extraterestrické žiarenie

Extraterestrické žiarenie, ktoré je použité v hodnotení kontinentality podnebia pomocou novej metódy indexu E, je slnečné žiarenie, ktoré dopadá na hornú hranicu atmosféry. Hodnota tohto žiarenia je funkciou dĺžky dňa a výšky

Slnka nad obzorom. Na výpočet mesačných súm extraterestrického žiarenia je zaužívané používať stredové dni mesiaca. Stredové dni sa líšia od stredných dní mesiacov. Sú to dni, ktoré majú priemerované hodnoty reprezentatívne pre celý mesiac a určujú sa váženým priemerom deklinácie Slnka v danom mesiaci (Vaniček, 1988). Priebehy súm extraterestrického žiarenia sú rozdielne pre jednotlivé zemepisné šírky. Na severnej pologuli dosahujú minimum v decembri a maximum v júni, na južnej pologuli je priebeh súm extraterestrického žiarenia počas roku opačný.

METODIKA

Nová metóda merania kontinentality vychádza z pracovnej hypotézy, že mierou termickej kontinentality klímy môže byť veľkosť oneskorenia ročného chodu teploty vzduchu za ročným chodom súm extraterestrického žiarenia. Toto oneskorenie môžeme približne popísť ako fázový posun chodu oboch veličín. Pri malom fázovom posune (oneskorení) oboch veličín môžeme stanice prehlásiť za kontinentálne a pri veľkom oneskorení za oceánické.

Aby sme mohli porovnať ročné chody oboch veličín, je potrebné ich najskôr transformovať do relatívnej formy. Tzv. relatívna teplota vzduchu je v klimatológii známa a používaná charakteristika klímy. Podľa Noska (1972) zaviedol relatívnu teplotu vzduchu W. Köppen. Relatívna teplota vzduchu určitého mesiaca je daná podielom rozdielu priemernej teploty vzduchu tohto mesiaca a priemernej teploty vzduchu najchladnejšieho mesiaca roka ku jej amplitúde (rozdielu medzi priemernými teplotami vzduchu najteplejšieho a najchladnejšieho mesiaca) a je vyjadrená v percentách. Takto vyjadrená teplota vzduchu je vhodná k porovnaniu ročného priebehu teploty vzduchu na viacerých staniciach. Analogicky ku relatívnej teplote vzduchu sú vyjadrené tiež relatívne hodnoty súm extraterestrického žiarenia. Na rozdiel od relatívnej teploty vzduchu nie sú relatívne hodnoty súm extraterestrického žiarenia tradičnou charakteristikou klímy a sú tu použité po prvý raz.

Hodnoty súm extraterestrického žiarenia pre stredové dni mesiacov boli stanovené pre každú rovnobežku. Každej pozorovacej stanici bola na základe danej zemepisnej šírky priradená hodnota súm extraterestrického žiarenia podľa najbližšej rovnobežky, pri ktorej sa stanica nachádza.

Sumy extraterestrického žiarenia sa počítajú pre jednotlivé zemepisné šírky podľa vzorca:

$$G_{exd} = 1367 \frac{86400}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi * n}{365} \right) \right) * \\ * (\cos \varphi \cos \delta \bullet \sin \omega_s + \omega_s \sin \varphi \sin \delta \bullet),$$

kde

G_{exd} = denná suma extraterestrického žiarenia vyjadrená v $\text{J.m}^{-2}\text{deň}^{-1}$,

φ = zemepisná šírka,

n = poradové číslo dňa v roku,

ω_s = hodnota hodinového uhla.

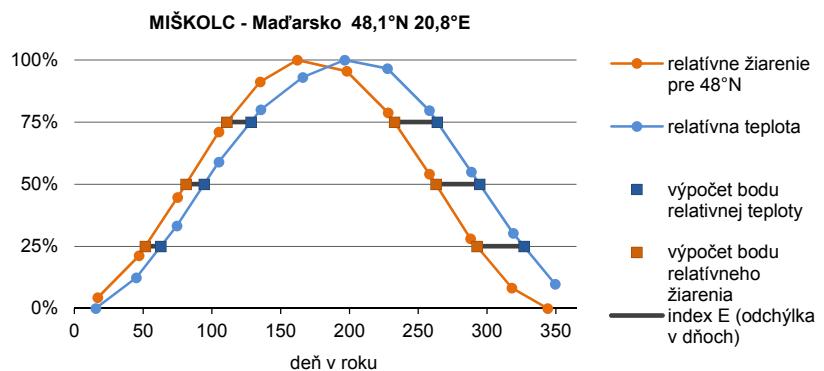
Tabuľka 1.
Absolútne hodnoty súm extraterestrického žiarenia pre stredové dni v mesiaci pre vybrané rovnobežky, ktoré boli neskôr vyjadrené v relatívnej forme.

Table 1.
Absolute sum values of extra-terrestrial radiation of mid-point days for selected latitudes - expressed at first in a relative form.

deň / φ	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
90°N	0	0	0	19,2	37,2	44,9	41,3	26,8	0	0	0	0
70°N	0	2,8	10,7	22,9	35,1	42,2	38,8	27,6	14,9	4,9	0,2	0
50°N	9,1	14,6	22,5	31,5	38,5	41,6	40,0	34,2	25,7	16,9	10,4	7,7
30°N	21,3	26,0	31,6	36,8	40,0	41,1	40,5	37,9	33,4	27,6	22,3	19,9
10°N	32,0	34,6	36,9	37,9	37,5	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,5	31,1
0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,5	33,9	35,7	37,2	37,4	36,4	35,7
10°S	39,5	39,3	37,8	34,6	31,1	29,2	29,9	32,9	36,3	38,5	39,3	39,4
30°S	43,0	39,5	34,1	27,2	21,4	18,7	19,8	24,5	31,1	37,5	41,9	43,7
50°S	42,4	35,4	26,3	16,8	10,0	7,2	8,4	13,6	22,2	32,1	40,4	44,2
70°S	40,9	28,2	15,4	4,9	0,2	0	0	2,4	10,7	23,5	37,0	44,8
90°S	43,5	27,1	0	0	0	0	0	0	0	19,9	39,2	47,7

Obrázok 1.
Ukážkový graf výpočtu indexu E pre meteorologickú stanicu Miškola.

Figure 1.
Demonstration chart of calculation of E-index for the Miškola meteorological station.



Hodnota hodinového uhlia (východu/západu Slnka) je uhlová vzdialenosť medzi objektom a meridiánom, vyjadrená v hodinách. V letných mesiacoch pre zemepisné šírky nad polárnym kruhom je hodinový uhol celý deň nenulový, nakoľko Slnko nezapadá a je stále nad obzorom. Do vzorca G_{ext} je dosadená hodnota $\pi \pm 180^\circ$. Hodnotu hodinového uhlia určíme zo vzťahu (Vaníček, 1988):

$$\omega_s = \arccos(-\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta_s),$$

δ_s je deklinácia Slnka, ktorú vyjadrimo zo vzťahu:

$$\delta_s = 23,45 * \sin\left(\frac{360 * (285 + n)}{365}\right).$$

Relatívne hodnoty obidvoch porovnávaných veličín pre stredné dni u teploty vzduchu a stredové dni u súm extraterestrického žiarenia boli vložené do spoločného grafu a spojené úsečkami, takže ročný chod každej veličiny je reprezentovaný lomenou čiarou (Obr. 1). V ďalšom kroku bolo stanovené oneskorenie relatívnej teploty vzduchu za relatívnymi hodnotami súm extraterestrického žiarenia odpovedajúce ordinátam 25%, 50% a 75%, a to ako na vzostupnej, tak aj na zostupnej vetve chodu obidvoch veličín. Na výpočet oneskorenia oboch veličín je nutné dôpocítať konkrétnie dni odpovedajúce použitým ordinátam na rastúcej aj klesajúcej časti grafu pomocou trojčlenky z okolitých dvoch známych bodov. Výsledok - index E, dostaneme ako priemer šiestich časových rozdielov relatívnej teploty vzduchu a relatívnych súm extraterestrického žiarenia, vyjadrených ako konkrétny počet dní oneskore-

nia. Väčšia hodnota indexu znamená väčší posun relatívnej teploty vzduchu za priebehom relatívnych súm extraterestrického žiarenia, na danú stanicu pôsobi teda viac oceánska klíma, a preto je kontinentalita danej oblasti menšia.

VÝSLEDKY

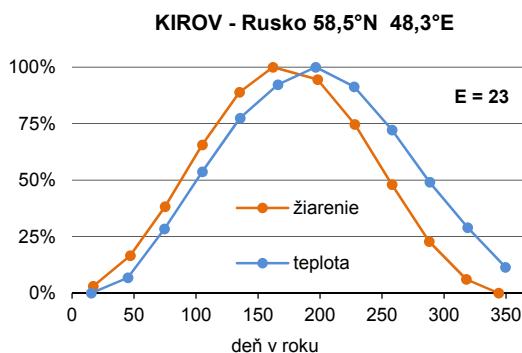
Priebeh kontinentality, podľa novonavrhnutého indexu E, smerom do vnútrozemia nie je rovnomerný. Smerom od oceánu do vnútrozemia je spočiatku pokles indexu oveľa rýchlejší a neskôr, smerom ďalej do vnútrozemia, index E klesá pomalšie. Pri transformácii vzduchových hmôr je rýchlosť najväčšia po prekročení pobrežia a pri ďalšom posune smerom do vnútrozemia sa rýchlosť transformácie vzduchových hmôr spomaľuje. (Sládek, 2005)

Najväčší stupeň kontinentality v Európe podľa indexu E sa nachádza v stanici Kirov - Rusko ($58,5^\circ\text{N}$; $49,3^\circ\text{E}$) s odchýlkou 23 dní (Obr. 2) a najmenšiu kontinentalitu vykazuje stanica Horta ($38,5^\circ\text{N}$; $28,6^\circ\text{W}$) na Azorských ostrovoch s odchýlkou 57,6 dní (Obr. 3). Línie kontinentality sa v Škandinávii tiahnu paralelne pozdĺž pobrežia. V Dunajskej kotlini môžeme vidieť uzavretú oblasť väčszej kontinentálnej klímy.

Z pohľadu užitočnosti indexu E je veľmi dôležité jeho porovnanie s existujúcimi metódami merania kontinentality klímy. Dôležitým aspektom merania v súčasnosti sú významné rozdiely pri porovnaní indexov termickej a ombrickej kontinentality. Nový index E bol preto porovnaný s najznámejšími zástupcami obidvoch týchto prístupov (Obr. 4).

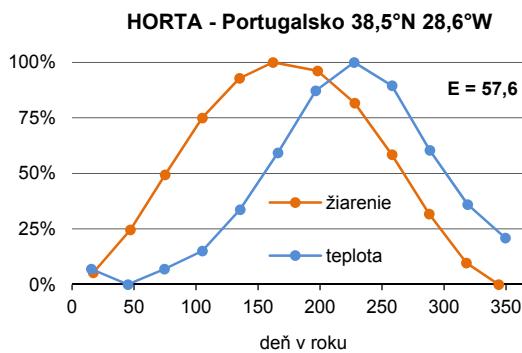
Obrázok 2. Priebeh relatívnych hodnôt teploty vzduchu a súm extraterestrického žiarenia na stanici Kirov v Rusku.

Figure 2. Course of relative values of air temperature and sums of extraterrestrial radiation at the Kirov meteorological station in Russia.



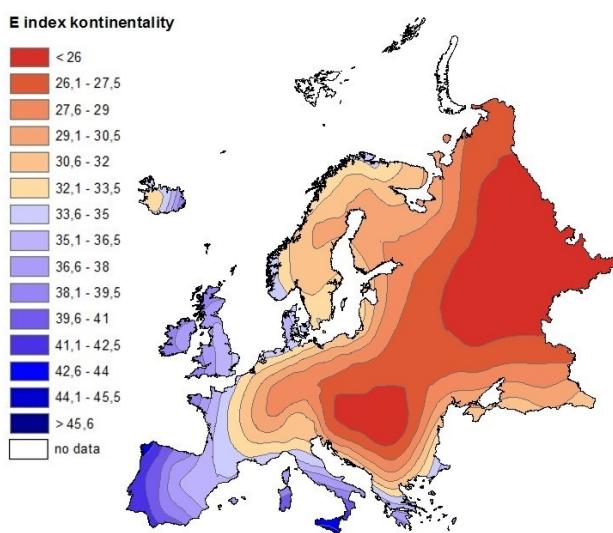
Obrázok 3. Priebeh relatívnych hodnôt teploty vzduchu a súm extraterestrického žiarenia na stanici Horta na Azorských ostrovoch.

Figure 3. Course of relative values of air temperature and sums of extraterrestrial radiation at the Horta meteorological station on the Azores.



Obrázok 4. Mapa kontinentality Európy podľa indexu E.

Figure 4. Map of continentality of Europe according to E-index.

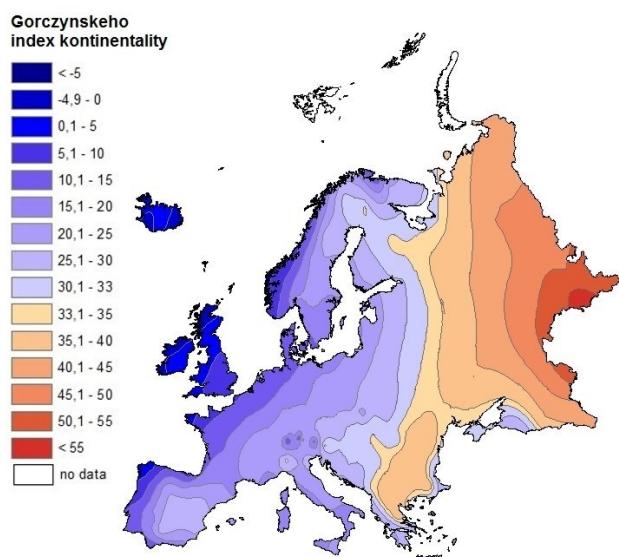


Gorczynského index

Najznámejší Gorczynského index termickej kontinentality by mal dosahovať hodnoty od 0 % do 100 %, (100 % najkontinentálnejšie miesto – Verchojansk a 0 % – Thorsavan na Faerských ostrovoch). Po výpočte Gorczynského indexu s dostupnými novšími dátami teplôt vzduchu (za obdobie 1961 až 1990) sa však objavujú aj záporné hodnoty indexu. Podľa Gorczynského indexu územie Európy leží v rozmedzí od -6,5 % do 57,4 %. Záporná hodnota nie je chybou vo výpočte, ale v samotnom vzorci. Najmenšiu kontinentálnitu teda vykazuje stanica Thorsavan (62°N; 6,8°W) s hodnotou -6,5 %. Naopak, najväčšiu kontinentálnitu v Európe dosahuje ruská stanica Orenburg (51,7°N; 55,1°E) s hodnotou 57,4 % (Obr. 5).

Obrázok 5. Mapa kontinentality Európy podľa Gorczynského indexu termickej kontinentality.

Figure 5. Map of continentality of Europe according to Gorczynski thermic continentality index.

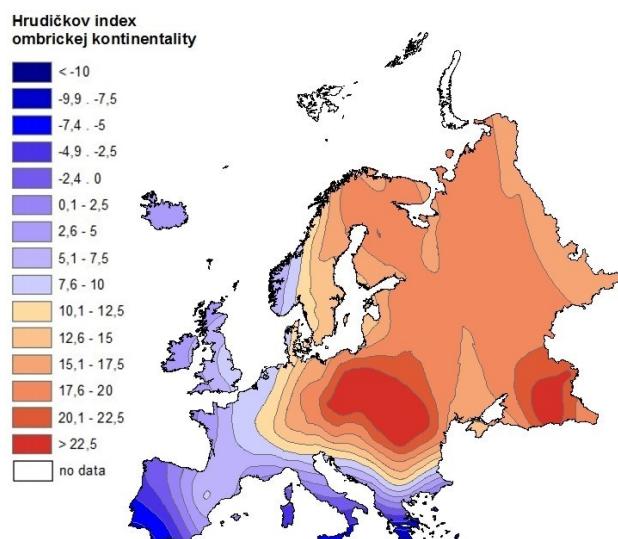


Hrudičkov index

Hrudička definoval stupeň ombrickej kontinentality v závislosti od rozdelenia a množstva atmosférických zrážok. Podľa Hrudičkovho indexu sa kontinentalita v Európe zvyšuje postupne od juhozápadu smerom do vnútrozemia. Najmenšiu kontinentálnitu vykazuje stanica Heraklion na Kréte v Grécku (35,3°N; 25,1°E) s hodnotou -12,2 a najviac kontinentálnym miestom v Európe podľa tohto vzorca je Pjatigorsk (44,1°N; 43°E) v Rusku, s hodnotou 37,1. Postup kontinentality je oveľa rýchlejší zo strany Stredozemného a Čierneho mora, než od Atlantického oceánu. Je to spôsobené tým, že subtropické podnebie má iný priebeh atmosférických zrážok než je v stredných zemepisných šírkach. Ďalším dôvodom, prečo kontinentalita rýchlo vzrastá smerom od Stredozemného a Čierneho mora, sú pohoria, ktoré tvoria prirodzenú bariéru v smere prúdenia. Celkové množstvo atmosférických zrážok rapídne klesá smerom do vnútrozemia (Obr. 6).

Obrázok 6. Mapa kontinentality Európy podľa Hrudičkovho indexu ombrickej kontinentality.

Figure 6. Map of continentality of Europe according to Hrudička ombric continentality index.



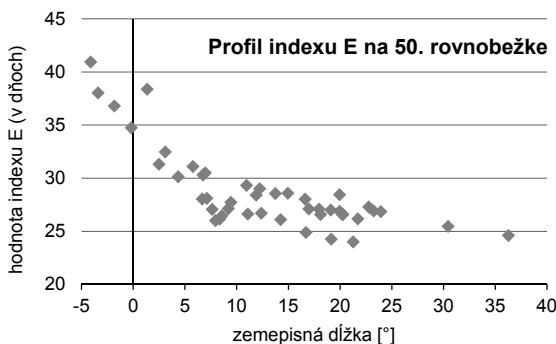
Už z vizuálneho porovnania máp je vidieť tesnejší vzťah medzi ombrickou kontinentalitou podľa Hrudičku a indexom E, skúmajúcim termickú kontinentalitu.

Profil indexu E na 50. rovnobežke pre európske stanice podľa zemepisnej dĺžky

V Európe prevláda väčšinou západné prúdenie vzduchu. Preto je na hodnotenie kontinentality indexom E v Európe reprezentatívnejšie použiť vzdialenosť staníc od Atlantického oceánu ako od najbližšieho mora. Z tohto dôvodu boli skúmané aj hodnoty indexu E z okolia 50. rovnobežky ($49^{\circ} - 51^{\circ}$) v závislosti od zemepisnej dĺžky. Pri znázornení tejto závislosti vidno logaritmický pokles kontinentality smerom do vnútrozemia na východ (Obr. 7).

Obrázok 7. Profil indexu E na 50. rovnobežke z európskych meteorologických staníc.

Figure 7. Index-E profile at the 50th line of latitude taken from European meteorological stations.



Regresná a korelačná analýza

Pre štatistické zhodnotenie rôznych indexov termickej a ombrickej kontinentality v Európe bola použitá regresná a korelačná analýza a korelácie boli testované F testom na hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Už aj podľa koeficientu determinácie R^2 (proporcia spoločného rozptylu), ktorý určuje na kolko percent ovplyvní zmenu jednej premennej tú druhú, je vidieť tesnejší vzťah medzi indexom E a Hrudičkovým indexom ombrickej kontinentality.

Tabuľka 2. Koeficienty determinácie indexov.

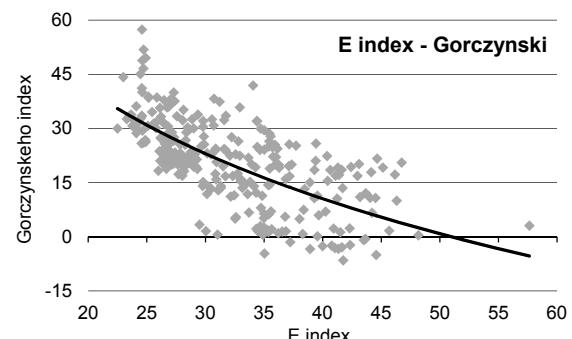
Table 2. Index determination coefficient.

R^2	Hrudička	Gorcynski	Index E
	1	0,213	0,601
		1	0,455
			1

Kedže index E nemá rovnometerný priebeh, preto aj závislosť indexu E od Gorczynského indexu kontinentality (Obr. 8) vykazuje logaritmickú funkciu. Koeficient determinácie medzi E indexom a Gorczynského indexom vyšiel pomerne malý – 0,455. V korelácii nového E indexu s Hrudičkovým ombrickým indexom (Obr. 9) je koeficient determinácie rovný 0,601 pri logaritmickej funkcií. Naopak pri porovnávaní Gorczynského termického indexu a Hrudičkovho indexu ombrickej kontinentality vyšla hodnota koeficientu determinácie 0,213 (Obr. 10).

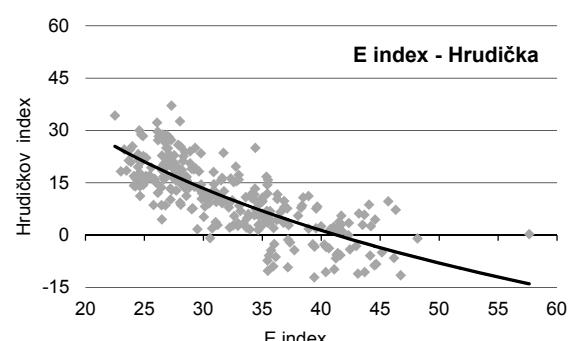
Obrázok 8. Korelácia medzi indexom E a Gorczynskim.

Figure 8. Correlation of E-index and Gorczynski index.



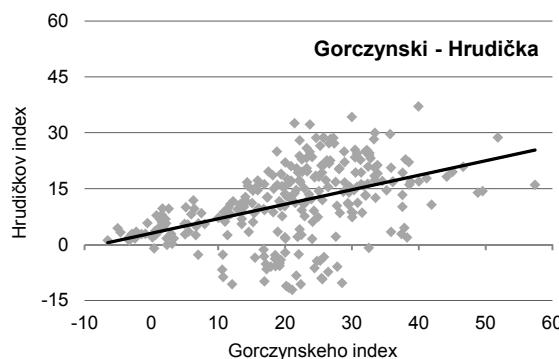
Obrázok 9. Korelácia medzi indexom E a Hrudičkom.

Figure 9. Correlation of E-index and Hrudička index.



Obrázok 10. Korelácia medzi Gorczynskim indexom a Hruďkovým indexom.

Figure 10. Correlation of Gorczynski index and Hrudička index.



Znázornenie kontinentality podnebia podľa indexu E vo svete

Kontinentalita podnebia v celosvetovej mierke nie je jednoznačne určená jediným správnym indexom. Dôvodom je, že každý z indexov má nejaké obmedzenia. Aj najpoužívanejší Gorczynského index sa nedá použiť na rovníku, kvôli sínusu zemepisnej šírky v menovateli vzorca.

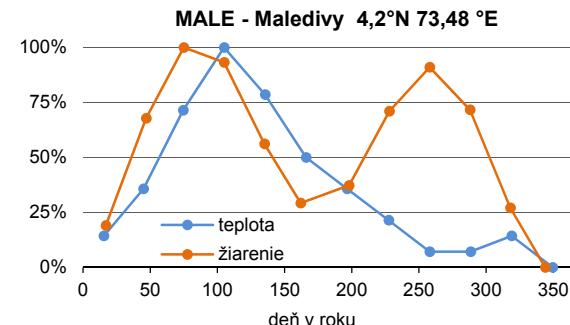
V tropickom pásme je veľmi zložité určiť priebeh kontinentality. Je to spôsobené veľmi malými teplotnými rozdielmi vzduchu v priebehu roka a priebehom súm extraterestrického žiarenia, ktorý dosahuje dva vrcholy (na jarnú a jesennú rovnodennosť). Niektoré pozorované stanice aj s malými teplotnými rozdielmi vzduchu „kopírujú“ priebeh teploty vzduchu za priebehom extraterestrického žiarenia (Obr. 12), no veľa z nich je ovplyvnených, napr. monzúnmi. Vtedy vplyv cirkulačných podmienok prekrýva vplyv radiácie na hornú hranicu atmosféry (Obr. 11).

Z týchto dôvodov bolo pri hodnotení kontinentality podnebia podľa indexu E zvolené ako reprezentatívne územie nachádzajúce sa mimo tropického pásma, ktoré je ohraničené obratníkmi Raka a Kozorožca.

Stanica s najmenšou odchýlkou, teda najväčšou kontinentalitou mimo tropického pásma, je Tschane v Botswane, kde index E dosahuje priemerné oneskorenie priebehu

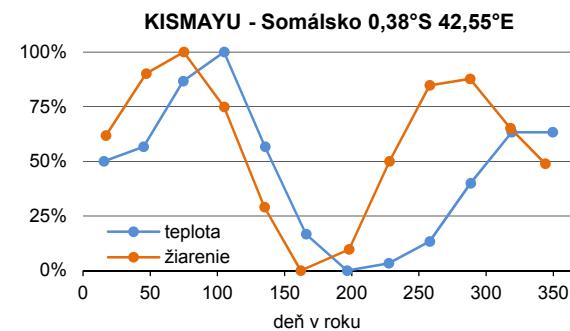
Obrázok 11. Priebeh relatívnej teploty vzduchu a súm extraterestrického žiarenia na stanici Male, ktorej teplotu vzduchu ovplyvňuje monzún.

Figure 11. Course of relative values of air temperature and sums of extraterrestrial radiation at the Mala meteorological station affected by monsoon.



Obrázok 12. Priebeh relatívnej teploty vzduchu a súm extraterestrického žiarenia na stanici Kimayu, ktorej priebeh teploty vzduchu kopíruje priebeh súm extraterestrického žiarenia v rovníkovom pásme.

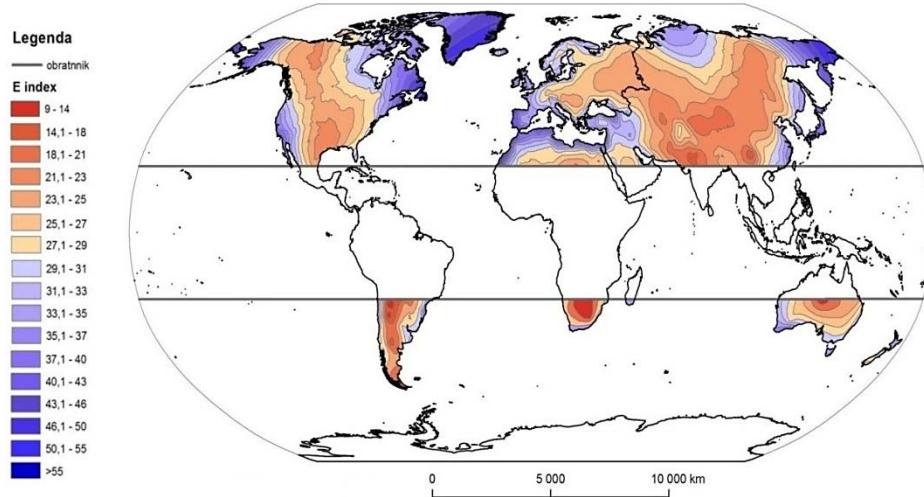
Figure 12. Course of relative values of air temperature and sums of extraterrestrial radiation at the Kimayu meteorological station that closely follows the course of extraterrestrial radiation in the equatorial climate.



teploty vzduchu za priebehom súm extraterestrického žiarenia iba 11,06 dňa. Naopak, stanica s najväčšou odchýlkou, ktorá tak vykazuje najväčšiu oceanitu, sa nachádza na Kanárskych ostrovoch - Hierro s indexom 72,96 dňa (Obr. 13).

Obrázok 13.
Mapa kontinentality vo svete podľa indexu E.

Figure 13.
Map of continentality of world according to E-index.



ZÁVER

Pridávať ďalšiu vedeckú prácu k už veľkému počtu výskumov, ktoré boli venované kontinentalite klímy, má zmysel iba vtedy, keď nová práca prinesie naozaj nový pohľad na fenomén kontinentality. Preto bol v tomto článku predstavený nový návrh indexu termickej kontinentality, ktorý sa principiálne líši od doposiaľ používaných spôsobov hodnotenia. Jeho prednosťou je, že nezávisí od žiadnych subjektívne zvolených konštant, ako je to napríklad u Gorczynského, alebo iných známych indexov. Výsledkom je vždy konkrétny údaj – dĺžka oneskorenia priebehu teploty vzduchu za priebehom súm extraterestrického žiarenia vyjadrená v dňoch.

Takmer všetky dosiaľ poznané spôsoby hodnotenia termickej kontinentality podnebia hodnotia iba jedený aspekt kontinentality (oceanity): amplitúdu (rozprátie) mesačných priemerov teplôt vzduchu za viacročné obdobie. Znakov výraznej kontinentality podnebia podľa týchto existujúcich spôsobov hodnotenia je veľká amplitúda – a naopak znakov oceánskeho podnebia malá amplitúda – teploty vzduchu.

Kontinentalita má ale aj iné aspekty, dokonca také, ktoré sú z praktického hľadiska dôležitejšie ako amplitúda mesačných priemerov teploty vzduchu. Napríklad, znakov silno oceánskej klímy je krátke trvanie teplotne výrazných hlavných klimatických sezón, leta a zimy, a proti tomu dlhé trvanie prechodných sezón, jari a jesene, kedy teplota vzduchu pomaly rastie a klesá. U výrazne kontinentálnej klímy je to naopak, leto a zima trvajú dlho a jar a jeseň s rýchlym vzostupom a poklesom teploty vzduchu sú krátke. Na tom je založená miera kontinentality, ktorú navrho Sládek (2005), a ktorú ďalej rozvíjala Mikolášková (2008).

Pri porovnávaní dvoch rozličných prístupov hodnotenia kontinentality, na strane jednej z pohľadu teploty vzduchu a na strane druhej z pohľadu atmosférických zrážok, môžeme posudzovať zhodu resp. rozdiely rôznych indexov. Pomocou korelácie medzi jednotlivými indexmi ombrickej a termickej kontinentality bol zrejmé dokázaný bližší vzťah indexu E k indexu ombrickej kontinentality podľa Hrudičku, ako v prípade indexu termickej kontinentality podľa Gorczynského.

Ďalším dôležitým poznáním je fakt, že priebeh hodnôt indexu kontinentality E smerom do vnútrozemia má logaritmický tvar. Ostrovne alebo pobrežné stanice vykazujú vysoký index E, ktorý smerom do vnútrozemia ku kontinentálnejšiemu podnebiu klesá najskôr pomerne rýchlo. Oproti tomu, u staníc nachádzajúcich sa už vo vnútrozemí, klesá index E smerom viac do vnútrozemia čím ďalej pomalšie.

Limitom pre určenie kontinentality podľa indexu E v celosvetovej mierke sú niektoré oblasti tropického pásma. Dôvodom je fakt, že v tropickom pásme na niektorých stanicích prevláda vplyv cirkulačných podmienok nad vplyvom radiácie na hranicu atmosféry. Hodnotiť kontinentalitu klímy indexom E môžeme teda zatiaľ len mimo oblasti tropického pásma a uplatnenie novej metódy v tomto pásme je otázkou ďalšieho výskumu. No ani Köppen ani Alisov vo svojich klasifikáciách podnebia neuvádzajú rozdiel medzi kontinentálnou a oceánskou klímom v okolí

rovníka. A dokonca neexistuje ani jedna klasifikácia, ktorá by bola braná ako všeobecný základ. (Lapin, 2001). Aj najpoužívanejší Gorczynského index nedokáže hodnotiť kontinentalitu v blízkosti rovníka. Je to dané jeho vzorcom, kde používa sínus zemepisnej šírky v menovateli, čo by na rovníku znamenalo hodnoty blížiace sa k nekonečnu (Scultetus, 1969).

Voči iným indexom ale nová metóda, index E, viditeľne zohľadňuje väčšie množstvo geografických faktorov, akými sú napríklad nadmorská výška a tvar reliéfu. Veľmi citlivu odráža priestorové zmeny kontinentality na európskom kontinente. Napríklad tie, ktoré súvisia s nížinou medzi Karpatmi a Alpami, a tiež citlivu reaguje na nadmorskú výšku. Evidentná je senzitivita metódy na blízkuzu prítomnosť studených a teplých morských prúdov, ako dokazuje napríklad územie Islandu. Preto nový index môže prispieť k lepšiemu chápaniu podstaty kontinentality a môže inšpirovať k ďalšiemu výskumu danej témy.

LITERATÚRA

- Conrad, V.–Pollak, W., 1950, *Methods in climatology. 2nd edition*. Harvard university press, Cambridge, Massachusetts, 459 p.
- Czepiecova, M., 2014, *Hodnocení kontinentality podnebí, pokus o novou metodu*, Bakalářská práce, PřF UK, Praha, 53 str.
- Driscoll, D.M.– Yee Fong, J. M., 1992, *Continentality: a basic climatic parameter re-examined*. International journal of climatology, 12, 185–192.
- Gorczynski, L., 1920, *Sur le Calcul du Degre du Continentalisme et Son Application dans la Climatologie*. Geografiska Annaler, 2, 324–331.
- Horáková, P., 1998, *Doba výskytu charakteristických bodů ročního chodu teploty vzduchu v Evropě jako projev kontinentality klímatu*. Diplomová práce, PřF UK. Praha, 44 str.
- Hrudička, B., 1932, *Isanomaly thermické kontinentality a thermodromického kvocientu v Československu*. Spisy vydané přírodovedeckou fakultou Masarykovy univerzity Brno, č. 164.
- Chromov, S.P., 1968, *Meteorológia a klimatológia*. Bratislava: Vyd. Slovenskej akadémie vied.
- Janušková M., 2016, *Kontinentalita klímatu ve vztahu k radiačním a cirkulačním faktorům*. Diplomová práce Katedra fyz. geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 110 str.
- Kveták, Š., 1982, *Termická kontinentalita podnebia na Slovensku*. Geografický časopis, 34, č. 4, 352–385.
- Lapin, M., 2001, *Všeobecné typy klímy. Všeobecná a regionálna klimatológia*. Univerzita Komenského v Bratislave, Bratislava. 110–119.
- Mikolášková, K., 2008, *Evaluation of climate continentality*. Diplomová práca. PřF UK Praha, 57 str.
- Nosek, M., 1972, *Metody v klimatologii*, Academia, Praha, 434 str.
- Scultetus, H.R., 1969, *Klimatologie*. Georg Westermann Verlag, Braunschweig, 164 str.
- Sládek, I., 2005, *Návrh nové míry kontinentality klímatu*. Fyzikogeografický sborník, 3, Masarykova univerzita v Brně, 144–147.

TEPLÉ A CHLADNÉ OBDOBIA NA SLOVENSKU (1951 – 2017) V KONTEXTE KLIMATICKEJ ZMENY

DALIBOR VÝBERČI, JOZEF PECHO, PAVOL FAŠKO, OLIVER BOCHNÍČEK

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

The study serves as a comprehensive evidence in the issue of sustained prolonged series of unusually warm (above normal) and cool (below normal) days in Slovakia. These so-called warm and cool spells are considered to occur throughout the whole year and their analysis was carried out in the time series of all three basic daily characteristics of air temperature. In the process, the identification of the warm and cool spells was performed using spatial values of the given characteristics for the entire country. A quantitative, comparative assessment over the period 1951–2017 was conducted in the context of climate change detection and documentation. The results confirm a markedly higher importance of warm temperature extremes in the current climatic conditions. The most remarkable registered tendency of substantial increase in the warm spells' variables was expressed in all of the appropriate event's parameters (frequency, duration, intensity, severity). A slight to moderate decline or weakening in the respective variables was generally registered in case of the cool spells.

Práca predstavuje súborný výstup v problematike výskytu dlhších súvislých sérií neobvykle teplých (teplotne nadnormálnych) a chladných (teplotne podnormálnych) dní na Slovensku. Tieto tzv. teplé a chladné obdobia sú teda chápane a boli nami analyzované v rámci celoročného režimu teploty vzduchu, a to v časových radoch všetkých troch základných denných teplotných charakteristik. Identifikácia teplých a chladných období bola pritom uskutočnená s využitím priestorových hodnôt daných charakteristik reprezentatívne pre celú krajinu. Kvantitatívne komparatívne hodnotenie za roky 1951–2017, štylizované v kontexte prejavov nastúpivšej zmeny klímy, potvrdilo výrazne väčšie zastúpenie teplých extrémov teploty vzduchu v súčasných klimatických podmienkach. Najpozoruhodnejšia zaregistrovaná tendencia, ktorou sa stal podstatný nárast ukazovateľov pri teplých obdobiach, sa prejavila vo všetkých náležitých atribútoch období (početnosť a frekvencia, trvanie, intenzita, závažnosť). V prípade chladných období dané ukazovatele vo všeobecnosti zaznamenali nepatrne až mierne klesajúcu, resp. zoslabujúcu tendenciu.

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

ÚVOD

V súčasných podmienkach otepľujúcej sa klímy je v globálном meradle veľmi pravdepodobné, že početnosť teplých dní a nocí dlhodobo rastie, zatiaľ čo počet chladných dní a nocí klesá. Náležité charakteristické zmeny sú zároveň evidované aj pri intenzite denných teplotných extrémov (IPCC, 2014). V súvislosti s týmito tendenciami sa analogicky otvára otázka zmien vo výskytu dlhších súvislých sérií neobyčajne teplých a chladných dní (Perkins a kol. 2012; Christidis a Stott, 2016), ktoré môžu predstavovať formu obzvlášť zaťažujúceho teplotného stresu ako pre prírodnú, tak aj spoločenskú sféru.

Teplé a chladné dni sa v relatívnom zmysle slova vyskytujú v priebehu celého roka. V klimatológii je takéto chápanie spojené so zaznamenanými dennými odchýlkami teploty vzduchu od dlhodobého priemeru, alebo od intervalu normálu v príslušnej ročnej dobe. Princípialny záujem pochopiteľne vzbudzujú neobvykle teplé/chladné dni s výraznými kladnými/zápornými teplotnými odchýlkami. Práve sled takýchto dní tvorí tzv. *teplé/chladné obdobia*, v praxi a literatúre tiež rôzne nazývané aj ako *teplé/chladné periody/vlny, obdobia/periódy/vlny teplého/chladného počasia, prípadne vlny tepla/chladu*. Najbežnejšie, de facto fundamentálne, sa tieto obdobia definujú a identifikujú ako sledy silne abnormálnych hodnôt ($< 10.$ a $> 90.$ percentil distribúcie) teploty vzduchu.

Štandardné klimatologické hodnotenia dlhšie trvajúcich teplotne abnormálnych období, identifikovaných pomocou relatívne ladených kritérií, sa v uplynulých rokoch objavili aj v rámci niekoľkých publikácií, ktoré sa bližšie dotýkajú aj územia Slovenska. Birsan a kol. (2014) ako súčasť svojej trendovej analýzy vyhodnocovali celoročný výskyt teplých a chladných období v regióne Karpát s využitím priestorovo gridovaných údajov. V rovnakom type práce pre karpatský región neskôr Spinoni a kol. (2015) priniesli špecializované, obšírnejšie hodnotenie plošného výskytu teplých a chladných vln v celoročnom režime, a tiež za jednotlivé ročné obdobia. Bochníček a kol. (2016, 2017) skúmali relativne definované teplé obdobia sezónne aj celoročne na štyroch, resp. troch meteorologických staniciach v rámci Slovenska. Veľmi teplé periody boli jedným zo zaradených indikátorov Šveca a kol. (2016) v analýze tepelného stresu v lete pre štyri slovenské stanice. V našom prechádzajúcom výskume (Výberči a Pecho, 2018), na ktorý týmto príspevkom nadvážujeme, sme sledovali dlhodobé zmeny výskytu letných periód teplého počasia na Slovensku pomocou územných hodnôt teplotných charakteristik. V rámci zimy boli relatívnym prístupom identifikované vlny chladu v Hurbanove a Oravskej Lesnej súčasťou hodnotenia Balážovičovej a kol. (2015).

Podľa doposiaľ publikovaných prác a dostupných zdrojov tak zatiaľ v literatúre absentuje komplexnejšia štúdia, zahrňujúca tradičné kvantitatívne klimatologické

spracovanie a porovnanie dlhodobého výskytu teplých i chladných období v celoročnom režime teploty vzduchu, s využitím priestorových hodnôt teplotných údajov a územnej platnosťou výlučne pre (celé) Slovensko. V predkladanom článku prinášame práve takéto ucelené hodnotenie uvedených období na Slovensku, analyzujúc časovú premenlivosť najdôležitejších atribútov ich výskytu (početnosť a frekvencia, trvanie, intenzita, závažnosť) od roku 1951 do roku 2017 vrátane. Teplé a chladné obdobia boli identifikované pre všetky tri základné denné charakteristiky teploty vzduchu. Použité pri tom boli identifikačné definície období, odporúčané Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) pre analýzu týchto udalostí v kontexte detektie a monitорovania prejavov prebiehajúcej klimatickej zmeny.

MATERIÁL A METÓDY

Klimatologické údaje

V analýze boli využité údaje z klimatologickej databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu o maximálnej (T_x), minimálnej (T_n) a priemernej (T_m) dennej teplote vzduchu z 11 meteorologických staníc s klimatologickým programom meraní a pozorovaní (Obr. 1) za obdobie od 1. januára 1951 do 31. decembra 2017. T_m je počítaná z aktuálnych hodnôt teploty vzduchu v troch základných klimatických termínoch o 7., 14. a 21. hodine stredného miestneho času podľa vzorca: $(T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4$.

Stanice vo vyhovujúcej miere reprezentujú celé územie SR, zastupujú jeho rôzne klimatické oblasti a nadmorské výšky s výnimkou vysokohorských polôh. Príslušné časové rady vybraných staníc patria v rámci Slovenska medzi najkvalitnejšie, úplne vynechané z výberu boli stanice, ktorých lokalizácia bola zásadne zmenená. Časové rady v konečnom dôsledku uspokojivo splňajú kritéria časovej a priestorovej homogenity, ako aj úplnosti charakteristík teploty vzduchu.

Kvôli viacerým výpadkom v časovom rade minimalnej dennej teploty T_n na stanici Rimavská Sobota (so súhrnným trvaním až takmer 400 dní, aj počas zvoleného normálneho obdobia), v kombinácii s premiestnením stanice, sme tieto údaje z uvedenej stanice pri spracovaní nevyužili. V prípade T_n bola teda analýza uskutočnená iba z údajov zo zvyšných 10 staníc. Chýbajúce hodnoty údajov sa v spracovávaných časových radoch vyskytli ešte aj v prípade maximálnej dennej teploty vzduchu T_x z Oravskej

Lesnej v septembri a októbri 1953. Tento kratší výpadok vzhľadom k použitému prístupu spracovania (viď nasledujúca podkapitola Identifikácia teplých a chladných období) možno považovať za zanedbateľný.

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

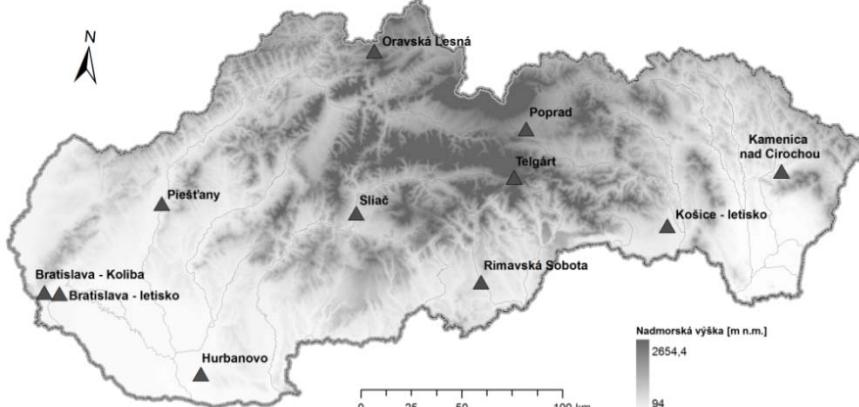
Identifikácia teplých a chladných období

Súvislé dlhé série dní s nezvykle vysokou teplotou vzduchu uvádzame v našej analýze ako teplé obdobia (TO), v prípade sérií nezvykle nízkych teplôt ide o chladné obdobia (CHO). Metodický koncept definovania období je založený na odchýlkach zaznamenanej teploty vzduchu v každom dni záujmového obdobia od normálu pre daný deň v roku. Dosiahnutím určenej prahovej hodnoty teplotnej odchýlky sú definované teplé/chladné dni, ktorých neprerušený sled určitého trvania tvorí TO/CHO. Odchýlky teploty vzduchu boli pri identifikácii období počítané pre každú stanicu zvlášť a následným spriemerovaním hodnôt z celého súboru staníc bola vypočítaná výsledná priestorová hodnota, reprezentatívna pre celé územie Slovenska. Následná samotná identifikácia TO/CHO bola teda uskutočnená v časových radoch príslušných údajov s vypočítanými priestorovými hodnotami. Možno podotknúť, že na základe uvedeného postupu, výsledné zaznamenanie obdobia s celoúzemnou platnosťou typicky znamená jeho výskyt prinajmenšom na väčšine referenčných staníc. TO/CHO boli v analytickej časti identifikované a hodnotené celoročne (I–XII, január až december).

Základné definovanie TO/CHO navrhol a publikoval Expertný tím pre detekciu a ukazovatele klimatickej zmeny (ETCCDI), ktorý bol špeciálne vytvorený zo zástupcov troch komisií WMO: Komisie pre klimatológiu (CCL), Komisie pre variabilitu klímy (CLIVAR) a Komisie pre oceánografiu a marinu meteorológiu (JCOMM). Tento definičný prístup (ETCCDI, 2009) predstavuje významne upravenú a optimalizovanú náhradu predtým odporúčaného variantu (Frich a kol., 2002) a odporúčanie jeho používania je platné stále aj v súčasnosti. Samotné definície sú súčasťou komplexnejších ukazovateľov, ktoré boli navrhnuté ako globálne indikátory klimatickej zmeny. Pre Slovensko, vzhľadom k jeho klimatickým podmienkam, neexistujú žiadne lokálne obmedzenia vo vhodnosti a použiteľnosti týchto definícií.

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

*Figure 1.
Location of selected meteorological stations within the hypsometry of Slovakia.*



Teplotné pomery sú v dvojici základných definícií ETCCDI vyjadrené prostredníctvom vysokých denných maxim teploty vzduchu Tx (pre teplé obdobia) a nízkych denných miním Tn (pre chladné obdobia). ETCCDI (2009) ale zároveň v súvislosti so zmenou klímy adresuje aj sledovanie početnosti dní s nízkymi maximami a vysokými minimami, odporúčané definície sme preto odvodili aj pre súvislé obdobia týchto extrémov daných charakteristik. Napokon, popri maximálnej a minimálnej teplote vzduchu je identifikácia teplotne výrazných období prípustná a bežne využívaná aj na Slovensku (napr. Lapin a kol., 2016; Švec a kol., 2016), tiež na základe priemernej dennej teploty vzduchu Tm . Pre oba typy období sme sa preto rozhodli pridať aj odvodený ekvivalent definície s využitím priemernej teploty vzduchu.

Použité identifikačné definície a nami ďalej v práci používané označenie období sú nasledovné:

- **TOx** [teplé obdobia ako sled silne nadnormálnych maximálnych denných teplôt vzduchu Tx]:
Podľa ETCCDI (2009) séria za sebou idúcich dní s kladnou odchýlkou Tx od hodnoty 90. percentilu empirickej distribúcie Tx pre daný deň v roku z obdobia 1961 – 1990, pričom hodnoty denných percentilov sú zhadené 5-dennými centroványmi kľavými priemermi.
- **TON** [teplé obdobia ako sled silne nadnormálnych minimálnych denných teplôt vzduchu Tn]:
Identická so základovou definíciou TOx, ale pre Tn .
- **TOm** [teplé obdobia ako sled silne nadnormálnych priemerných denných teplôt vzduchu Tm]:
Identická so základovou definíciou TOx, ale pre Tm .
- **CHOn** [chladné obdobia ako sled silne podnormálnych minimálnych denných teplôt vzduchu Tn]:
Podľa ETCCDI (2009) séria za sebou idúcich dní so zápornou odchýlkou Tn od hodnoty 10. percentilu empirickej distribúcie Tn pre daný deň v roku z obdobia 1961 – 1990, pričom hodnoty denných percentilov sú zhadené 5-dennými centroványmi kľavými priemermi.
- **CHOx** [chladné obdobia ako sled silne podnormálnych maximálnych denných teplôt vzduchu Tx]:
Identická so základovou definíciou CHOn, ale pre Tx .
- **CHOm** [chladné obdobia ako sled silne podnormálnych priemerných denných teplôt vzduchu Tm]:
Identická so základovou definíciou CHOn, ale pre Tm .

ETCCDI východiskovo odporúča minimálnu dĺžku trvania obdobia 6 dní. V užšom priestore strednej Európy, vrátane Slovenska, však niektorí autori neskôr objektívnejšie navrhli už 5-dňové minimálne trvanie teplotne výrazných období (Spinoni a kol., 2015; Lapin a kol., 2016), ktoré sa zhoduje s dolnou hranicou trvania priemerného synoptického cyklu (Sobišek, 1993). V predkladanej analýze preto TO a CHO sledujeme práve s dĺžkou trvania minimálne 5 dní.

Vybraný súbor v analytickej časti prezentovaných ukazovateľov zachytáva všetky rozhodujúce atribúty obdobia extrémnych teplôt. Základnými sú jeho trvanie a intenzita, vyjadrujúca magnitúdu denných teplotných

odchýlok nad/pod prahovou hodnotou, dosiahnutie ktorej je potrebné na klasifikáciu TO/CHO podľa príslušnej definície. Vo výstupoch sledujeme a prezentujeme priemernú intenzitu TO/CHO, t.j. priemer zaznamenaných denných teplotných odchýlok počas obdobia. Paralelne tiež vyhodnocujeme najväčšiu intenzitu TO/CHO, čo je parameter, charakterizujúci najteplejší/najchladnejší deň obdobia, čiže najvyššiu/najnižšiu dosiahnutú dennú teplotnú odchýlku v priebehu celého obdobia. Relevantne najdôležitejším atribútom v konečnom dôsledku je závažnosť (severita) TO/CHO, ktorú možno charakterizovať aj ako sumárnu intenzitu obdobia. Táto predstavuje sumu zaznamenaných denných teplotných odchýlok za celé obdobie, je teda vlastne kombináciou trvania a priemernej intenzity obdobia.

VÝSLEDKY

V analyzovanom časovom období od roku 1951 do roku 2017 vrátane bolo zvoleným metodickým postupom identifikovaných spolu 166 TOx (s celkovým trvaním 1127 dní), 116 TOn (764 dní), 167 TOm (1151 dní), 87 CHOx (602 dní), 56 CHOn (411 dní) a 111 CHOm (744 dní). Za účelom základnej ilustrácie výskytu TO/CHO je ďalej v tabuľke 1 načrtnutá aj ich sezónnosť v rámci celého záujmového obdobia.

Tabuľka 1. Percentuálny podiel z celkového počtu dní v rámci teplých a chladných období na Slovensku v rokoch 1951 – 2017 za jednotlivé sezóny v roku.

Table 1. Seasonal proportion [%] of the total count of days within the warm and cool spells in Slovakia, 1951 – 2017.

sezóna	TOx	TON	TOm	CHOx	CHOn	CHOm
zima (XII – II)	25,5	31,4	28,5	37,2	46,7	37,8
jar (III – V)	26,1	13,0	22,1	27,9	30,2	29,0
leto (VI – VIII)	29,9	33,4	29,4	6,0	4,9	6,5
jeseň (IX – XI)	18,5	22,3	20,1	28,9	18,2	26,7
chladný polrok (X – III)	44,9	53,4	50,4	69,6	78,1	71,6
teplý polrok (IV – IX)	55,1	46,6	49,6	30,4	21,9	28,4

Početnosť a frekvencia TO/CHO

Na obrázkoch 2 a 3 je vykreslená úplná časová distribúcia identifikovaných TO, resp. CHO, ktorá primárne dokumentuje početnosť a frekvenciu výskytu období. Zmeny početnosti vyjadrené číselným ukazovateľom ilustruje ďalej aj tabuľka 2.

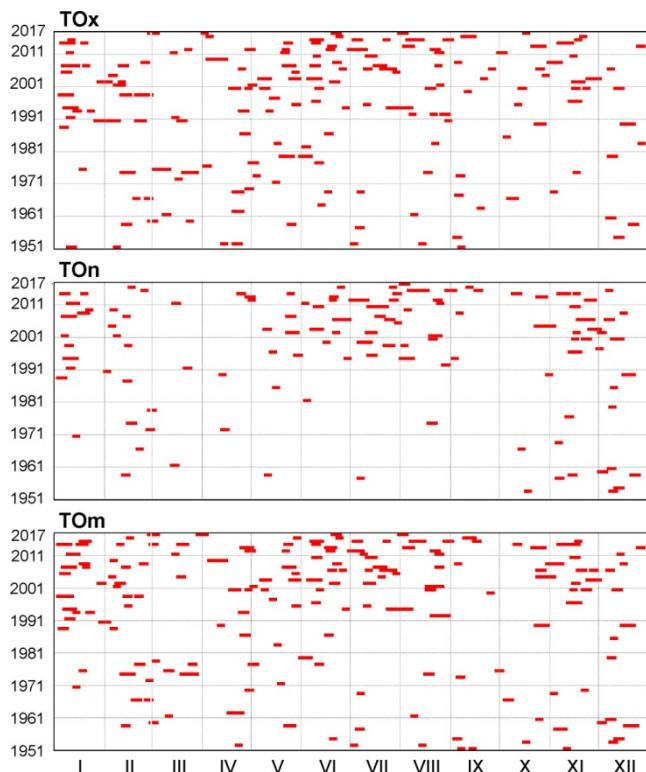
Tabuľka 2. Priemerný ročný počet teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

Table 2. Average annual number of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TOx	TON	TOm	CHOx	CHOn	CHOm
1951 – 1980	1,53	0,77	1,57	1,67	1,13	2,00
1961 – 1990	1,47	0,70	1,23	1,33	0,87	1,53
1971 – 2000	2,03	1,27	1,73	1,50	0,80	1,63
1981 – 2010	2,80	2,07	2,67	1,13	0,67	1,47
1991 – 2017	3,93	3,11	4,07	1,11	0,44	1,48

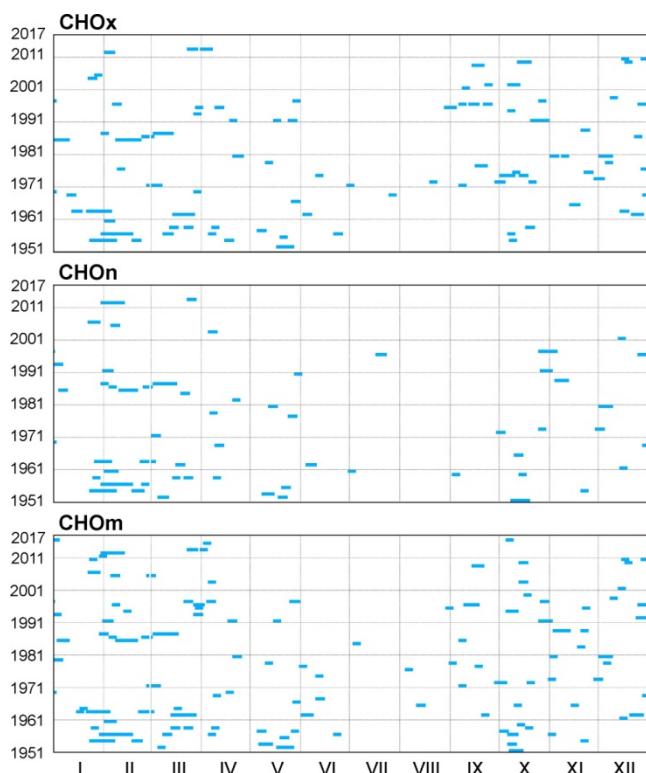
Obrázok 2. Časová distribúcia výskytu teplých období na Slovensku v rokoch 1951 – 2017.

Figure 2. Temporal distribution of the warm spells occurrence in Slovakia, 1951 – 2017.



Obrázok 3. Časová distribúcia výskytu chladných období na Slovensku v rokoch 1951 – 2017.

Figure 3. Temporal distribution of the cool spells occurrence in Slovakia, 1951 – 2017.



Početnosť výskytu TO a CHO bola približne do prelomu 80. a 90. rokov 20. storočia v zásade rovnocenná, TO/CHO sa teda v priemere vyskytovali podobne často. Odvtedy však všeobecne pozorujeme veľmi nápadné zvyšovanie rozdielu vo frekvencii ich výskytu, reprezentované veľmi značným pribúdaním TO a menej markantným úbytkom CHO. Od roku 1991 vrátane, t.j. za koncových cca 40 % dĺžky celého analyzovaného obdobia, sa vyskytlo 63,9 % zo všetkých identifikovaných TOx, 72,4 % TOn, 65,9 % TOm, 34,5 % CHOx, 21,4 % CHOn a 36,0 % CHOm.

Pokiaľ ide o rýchlosť rast počtu prípadov TO, znásobenie ich počtu bolo najväčšie v prípade TOn. Mierne vyjadrený pokles početnosti CHO celkovo gradoval skôr rovnomernejšie napriek celou analyzovanou períodou takmer 70 rokov, pričom v druhej dekáde 21. storočia sa vyskytli už iba epizodické CHO. Z dlhodobého hľadiska je ústup CHO o čosi zreteľnejší iba v prípade CHOn, ktoré po r. 1991 dosiahli výskyt s priemernou frekvenciou menej ako raz za dva roky.

V sledovanom období 1951 – 2017 bol najvyšší ročný počet TOx zaregistrovaný v r. 2000 (9), TOn v r. 2014 (8), a TOm rovnako v r. 2014 (9). Najviac CHOx bolo zaznamenaných v r. 1956 (5) a 1996 (5, z nich jedno na prelome s nasledujúcim rokom), CHOn v r. 1958 (4), a CHOm v r. 1956 (6).

Trvanie TO/CHO

Na obrázku 4 sú zachytené ročné počty dní v rámci TO/CHO, čo je jeden z odporúčaného súboru oficiálnych ukazovateľov ETCCDI WMO na detekciu a monitoring klimatickej zmeny. Časové zmeny priemerného trvania TO/CHO znázorňuje tabuľka 3. Najdlhšie zaznamenané TO/CHO v sledovanom období sú uvedené v rámci tabuľky 4.

Tabuľka 3. Priemerné trvanie [dní] teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

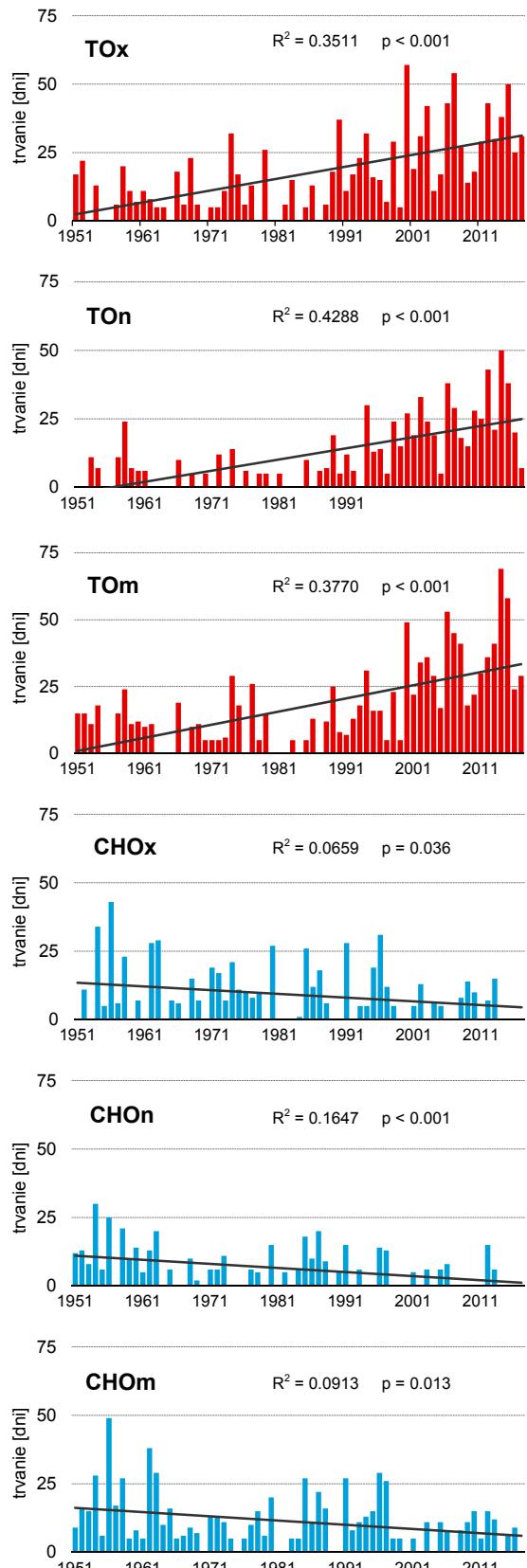
Table 3. Average duration [days] of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TOx	TOn	TOm	CHOx	CHOn	CHOm
1951 – 1980	6,4	5,8	6,3	7,0	7,2	6,7
1961 – 1990	6,8	5,7	6,6	7,1	6,8	6,7
1971 – 2000	7,0	6,3	6,9	6,6	7,1	6,6
1981 – 2010	7,0	6,9	7,1	6,7	7,3	6,7
1991 – 2017	6,9	6,9	7,2	6,3	7,8	6,4

Podstatný, štatisticky významný nárast ročného trvania TO je najvýraznejší pre TOn. Menej výrazná, no stále štatisticky významná (na hladine významnosti $\alpha = 0,05$) je tendencia poklesu celkového ročného počtu dní v rámci CHO, najmarkantnejšie pri CHOn (trend významný aj na hladine $\alpha = 0,001$). Zrejmé je postupné predĺžovanie individuálnych TO, v porovnaní s obdobím pred rokom 1990 vzrástlo priemerné trvanie najviac pri TOn, až o vyše 1 deň. V prípade CHO sa výraznejšie prejavil azda len postupný pokles priemerného trvania CHOx. Istý náznak predĺžovania sa v poslednej dobe objavil pri CHOn.

Obrázok 4. Ročné trvanie, t.j. počty dní v rámci teplých a chladných období na Slovensku v rokoch 1951–2017. Čiarou je naznačený odhad lineárneho trendu.

Figure 4. Annual duration, i.e. counts of days within the warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017. The line indicates the respective linear trend.



Tabuľka 4. Najvýznačnejšie teplé a chladné obdobia na Slovensku v rokoch 1951–2017. V závierke je uvedené poradie pri troch popredných obdobiah podľa každého z príslušných ukazovateľov.

Table 4. The major warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017. The ranking of the top three events according to each of the respective variables is given in brackets.

začiatok	koniec	trvanie [dní]	priemerná intenzita [$^{\circ}\text{C}$]	najväčšia intenzita [$^{\circ}\text{C}$]	závažnosť = sumárna intenzita [$^{\circ}\text{C}$]
TOx					
19.03.1974	29.03.1974	11	2,9	7,4 (3.-4.)	31,5
14.12.1989	23.12.1989	10	4,3	8,2 (1.)	42,9
25.01.1990	10.02.1990	17 (1.-2.)	2,0	3,8	33,6
25.08.1992	31.08.1992	7	5,9 (1.)	8,1 (2.)	41,6
23.07.1994	08.08.1994	17 (1.-2.)	2,6	4,9	44,6
27.01.2002	05.02.2002	10	2,9	7,4 (3.-4.)	29,3
05.01.2007	16.01.2007	12	4,1	7,0	49,6 (2.)
03.04.2009	16.04.2009	14 (3.)	2,5	3,6	35,1
22.08.2011	27.08.2011	6	5,3 (2.)	6,6	31,6
29.06.2012	11.07.2012	13	3,5	6,1	45,6 (3.)
04.08.2015	15.08.2015	12	4,2	6,6	49,9 (1.)
27.08.2015	02.09.2015	7	4,8 (3.)	7,1	33,9
TOn					
06.12.1960	11.12.1960	6	4,0 (3.)	6,3	23,9
15.11.2002	19.11.2002	5	4,1 (2.)	6,5 (3.)	20,4
22.10.2004	04.11.2004	14 (1.-3.)	2,5	6,6 (2.)	35,6 (1.)
05.01.2007	14.01.2007	10	3,3	5,5	33,4 (2.)
11.07.2010	24.07.2010	14 (1.-3.)	1,7	3,2	23,4
30.06.2012	12.07.2012	13	2,5	5,0	32,8 (3.)
17.01.2014	21.01.2014	5	4,2 (1.)	6,9 (1.)	21,0
05.08.2015	18.08.2015	14 (1.-3.)	1,7	3,1	23,2
TOM					
19.08.1992	31.08.1992	13 (3.-5.)	3,8	7,0 (3.)	48,8 (1.)
23.07.1994	08.08.1994	17 (1.)	1,6	3,5	27,7
12.02.1998	17.02.1998	6	4,4 (2.-3.)	7,6 (1.)	26,6
23.10.2004	04.11.2004	13 (3.-5.)	2,3	5,7	30,4
05.01.2007	14.01.2007	10	4,4 (2.-3.)	7,1 (2.)	44,0 (2.)
04.04.2009	16.04.2009	13 (3.-5.)	1,1	1,8	13,7
22.08.2011	27.08.2011	6	4,6 (1.)	6,4	27,8
05.11.2014	19.11.2014	15 (2.)	1,4	3,3	20,7
06.08.2015	16.08.2015	11	3,4	4,5	37,5 (3.)
CHOx					
23.01.1954	08.02.1954	17 (2.)	-5,3 (3.)	-9,4 (2.)	-90,3 (2.)
30.01.1956	18.02.1956	20 (1.)	-5,8 (1.-2.)	-10,2 (1.)	-116,2 (1.)
21.01.1963	05.02.1963	16 (3.-4.)	-3,1	-7,0	-48,8
08.02.1985	23.02.1985	16 (3.-4.)	-3,1	-7,9	-50,3 (3.)
01.02.2012	07.02.2012	7	-5,8 (1.-2.)	-8,6 (3.)	-40,6
CHOn					
23.01.1954	08.02.1954	17 (2.)	-6,1	-12,2 (1.)	-103,9 (2.)
30.01.1956	18.02.1956	20 (1.)	-7,0 (2.)	-12,1 (2.)	-140,0 (1.)
30.01.1987	03.02.1987	5	-8,1 (1.)	-11,2	-40,3
02.03.1987	16.03.1987	15 (3.-4.)	-3,8	-6,7	-56,7
25.12.1996	01.01.1997	8	-6,4 (3.)	-11,9 (3.)	-51,3
30.01.2012	13.02.2012	15 (3.-4.)	-4,6	-9,1	-69,7 (3.)
CHOm					
23.01.1954	07.02.1954	16 (2.-4.)	-6,5 (1.)	-12,0 (1.)	-103,9 (2.)
29.01.1956	18.02.1956	21 (1.)	-6,3 (2.)	-11,1 (2.)	-133,0 (1.)
13.03.1962	28.03.1962	16 (2.-4.)	-1,9	-3,9	-31,0
02.03.1987	17.03.1987	16 (2.-4.)	-3,4	-7,2	-55,1
25.12.1996	01.01.1997	8	-6,0 (3.)	-10,0 (3.)	-47,9
30.01.2012	13.02.2012	15	-4,3	-8,3	-65,2 (3.)

Intenzita TO/CHO

Tabuľka 5 ilustruje dlhodobé zmeny intenzity TO/CHO počas analyzovaného obdobia. Najprominentnejšie zaznamenané TO/CHO z pohľadu priemernej i najväčšej intenzity sú uvedené v rámci tabuľky 4.

Intenzita TO, priemerná aj najväčšia, postupne v dlhodobom trende zreteľne vzrástla, najvýraznejšie je to v prípade TOm. V najteplejších dňoch je pritom vzostup intenzity TO o pár desatín °C väčší než priemerný nárast za celé TO. Pri CHO je signál výraznejšeho celkového trendu len pre CHOn, ktorých priemerná aj najväčšia intenzita sa do súčasnosti taktiež zosilnili, v najchladnejších dňoch takisto o čosi viac (~0,2 °C) než v prípade priemernej intenzity.

Tabuľka 5. Priemerné hodnoty priemernej a najväčšej intenzity teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

Table 5. Average values of the mean and largest intensity of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TOx	TOn	TOm	CHOx	CHOn	CHOm
priemerná intenzita [°C]	1951–1980	2,1	1,6	1,6	-2,2	-2,8
	1961–1990	2,1	1,5	1,6	-2,2	-3,1
	1971–2000	2,3	1,6	1,9	-2,1	-3,2
	1981–2010	2,5	1,8	2,2	-2,2	-3,7
	1991–2017	2,7	1,9	2,3	-2,4	-3,5
najväčšia intenzita [°C]	1951–1980	3,8	2,9	2,8	-4,0	-5,2
	1961–1990	3,8	2,7	2,8	-4,1	-5,8
	1971–2000	4,0	2,9	3,3	-3,9	-5,8
	1981–2010	4,3	3,2	3,7	-4,2	-6,3
	1991–2017	4,5	3,4	3,9	-4,3	-6,1

Závažnosť (sumárna intenzita) TO/CHO

Zmeny priemernej závažnosti TO/CHO z dlhodobého hľadiska znázorňuje tabuľka 6. Grafy v rámci obrázku 5 zachytávajú sumárnu závažnosť TO/CHO za jednotlivé roky. Najzávažnejšie zaznamenané TO/CHO sú uvedené v rámci tabuľky 4.

Tabuľka 6. Priemerné hodnoty závažnosti (= sumárnej intenzity) [°C] teplých a chladných období na Slovensku vo vybraných časových intervaloch.

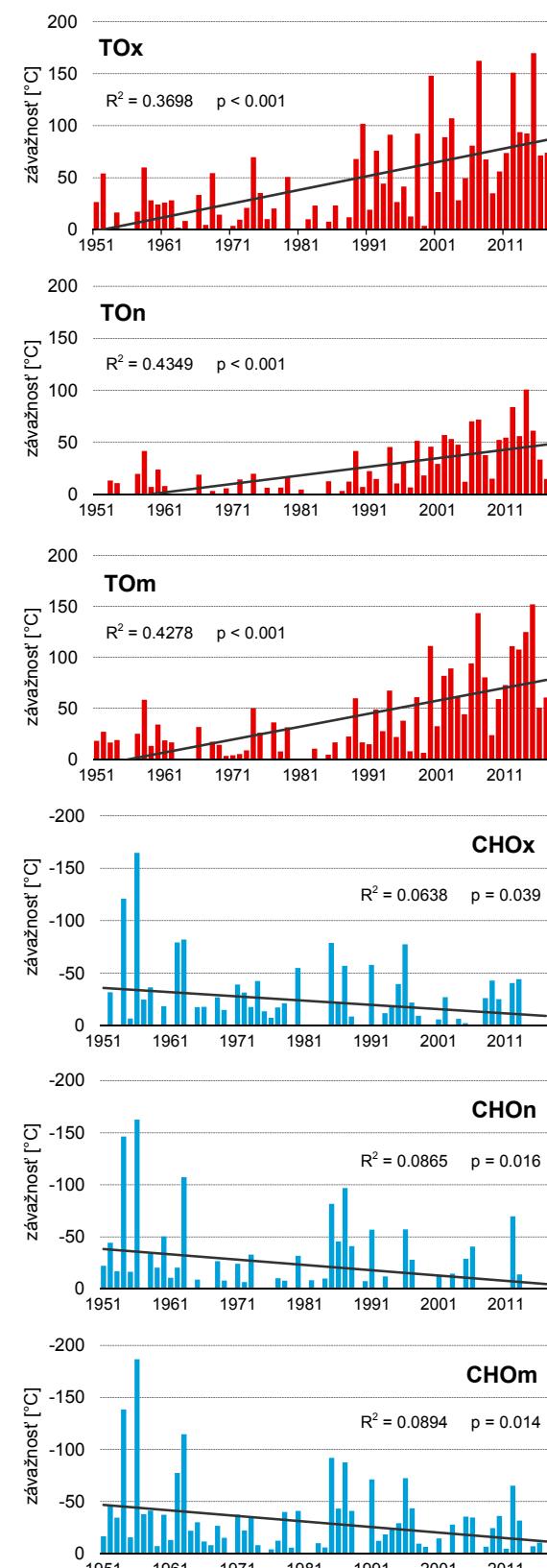
Table 6. Average values of the severity (= summary intensity) [in °C] of the warm and cool spells in Slovakia in selected time periods.

	TOx	TOn	TOm	CHOx	CHOn	CHOm
1951–1980	13,5	9,4	10,2	-17,8	-23,8	-18,1
1961–1990	14,5	8,6	10,8	-16,3	-22,6	-17,5
1971–2000	16,8	10,3	13,5	-14,4	-23,3	-15,8
1981–2010	18,0	12,5	15,6	-15,9	-27,1	-17,0
1991–2017	18,8	13,1	16,3	-15,3	-27,9	-14,6

Nakoľko ukazovateľ závažnosti TO/CHO v sebe kombinuje dosahované hodnoty trvania a priemernej intenzity období, trendy závažnosti logicky reflektujú zistené tendencie pri uvedených dvoch čiastkových ukazovateľoch.

Obrázok 5. Ročná závažnosť, t.j. sumárna intenzita za dni v rámci teplých a chladných období na Slovensku v rokoch 1951–2017. Čiarou je naznačený odhad lineárneho trendu.

Figure 5. Annual severity, i.e. summary intensity over days within the warm and cool spells in Slovakia, 1951–2017. The line indicates the respective linear trend.



Pri hodnotách priemernej závažnosti TO je tak registrovaný jasný, a teda výrazný posun smerom k väčšej závažnosti. Taktiež sumárna ročná závažnosť pri TO očakávane vykazuje veľmi markantnú rastúcu tendenciu, ktorá je jednoznačne štatisticky významná. V prípade CHO je zdanlivo výraznejšou tendenciou iba nárast priemernej závažnosti individuálnych CHOn vzhľadom k nápadnejšiemu zvýšeniu hodnôt ku koncu sledovaného obdobia. Naznačené dlhodobé trendy ročnej závažnosti CHO mierne klesajú, pričom štatisticky významne (na hladine významnosti $\alpha = 0,05$), pri všetkých typoch CHO.

DISKUSIA

Nepochybne najzásadnejšou dlhodobou tendenciou, registrovanou v našich výsledkoch je podstatný nárast hodnôt všetkých sledovaných ukazovateľov TO v celoročnom režime. Tento stav je konzistentný so zisteniami v rámci štúdií Birsana a kol. (2014) a Spinoniho a kol. (2015) pre región Karpát. Uvedené trendy TO na Slovensku sú pritom primárne ovplyvnené, resp. vyvolané situáciou približne od začiatku 90. rokov 20. storočia, čo je v súlade aj s výsledkami Bochníčka a kol. (2016, 2017). Z porovnania TO podľa teplotných charakteristik vyplýva, že vzostupný trend ukazovateľov početnosti, frekvencie a trvania TO na Slovensku je najzretelejší pri minimálnej teplote vzduchu (TON). Pri intenzite a priemernej závažnosti bol ale najvýraznejší nárast zaznamenaný pre zmenu v prípade priemernej teploty (TOm). Tieto skutočnosti sú v dobrej zhode s priestorovými trendovými indexmi pre celý karpatský región za obdobie 1961 – 2010 (Spinoni a kol., 2015).

Súhlasne so zaznamenanými priestorovými tendenciemi v karpatskej oblasti (Birsan a kol., 2014; Spinoni a kol., 2015), hodnoty ukazovateľov CHO vo všeobecnosti na Slovensku signalizujú mierny dlhodobý pokles pri početnosti a trvaní a súčasne zoslabenie intenzity, prípadne sú trendy nevýrazné, stále však skôr záporného charakteru. Výnimku predstavuje určitý náznak predĺžovania, intenzifikácie, a tým aj zväčšenia závažnosti individuálnych CHOn v poslednom období. Tieto zistenia však treba bráť s určitou rezervou, kvôli veľmi nízkym zaznamenaným počtom CHOn obzvlášť po r. 2000.

Registrovaným trendom svojim časovým výskytom zodpovedajú aj absolutne najvýznačnejšie zaznamenané TO/CHO (Tab. 4) a prezentované najvyššie ročné hodnoty ich ukazovateľov. Najextrémnejšie CHO a roky s CHO sa väčšinou vyskytli pred diskutovaným „zlomom“ okolo roku 1990, zatiaľ čo analogické TO a roky s TO prakticky všetky po ňom, čo obdobne dokumentujú aj Spinoni a kol. (2015), či Bochníček a kol. (2016, 2017).

Považujeme za vhodné zdôrazniť, že v hodnotiacej časti práce sme nevenovali osobitnú pozornosť sezónnemu (v ročných obdobiach, teplom a chladnom polroku, a pod.), ani mesačnému výskytu TO/CHO. Pri početnosti a frekvencii TO/CHO však možno zvláštnosti ich výskytu v špecifických úsekokach roka vyčítať z obrázkov 2 a 3. Podrobnejší popis výskytu teplotne význačných období na Slovensku, špeciálne v rámci vybraných sezón, možno tiež nájsť v príbuzných prácach (Balážovičová a kol., 2015;

Spinoni a kol., 2015; Bochníček a kol., 2016; Švec a kol., 2016; Výberčí a Pecho, 2018).

Do nášho priestorového hodnotenia sme vedome nezahrnuli slovenské vysokohorské lokality, ktoré môžu z hľadiska teplotného režimu vykazovať nezanedbateľné špecifiká (Brázdiel a kol., 1995; Lapin a kol., 2005; Faško a kol., 2013; Labudová a kol., 2015). V prípade dlhšie trvajúcich období to môže byť typické napr. pri výskytu inverzných situácií. Preto sa nazdávame, že analýza výskytu teplých a chladných období vo vysokých horských polohách bude vhodnejšia v rámci separátnej štúdie.

ZÁVER

Predkladaný príspevok má slúžiť v prvom rade ako súborný výstupný materiál v problematike výskytu súvislých dlhšie trvajúcich sérií vysokých a nízkych teplôt vzduchu na Slovensku v relatívnom chápaní, t.j. v celoročnom teplotnom režime v porovnaní s definovaným intervalom normálu. V príslušnej odbornej literatúre, podľa nášho najlepšieho vedomia, až doposiaľ absentovala možno povedať žiaduca, komplexnejšia komparatívna štúdia práve takého zamerania. Dlhé série neobyčajne teplých a chladných dní totiž môžu mať obzvlášť negatívny účinok na prírodu aj spoločnosť, čo býva najpríznačnejšie predovšetkým v najteplejšej a najchladnejšej časti roka, kedy v náhyných lokalitách takéto náležité série znamenajú výskyt vln horúčav, resp. studených vln so silnými mrazmi.

Naše výstupy jasne potvrdzujú, že výskyt teplých období je v kontexte meniacej sa klímy aj na Slovensku de facto po všetkých stránkach značne prominentnejší, než období chladných. Adekvátne tomuto stavu preto musia byť prispôsobené ďalšie budúce aktivity, jednak v oblasti odborno-výskumnej, ale tiež, a najmä pri praktickej implementácii nadobudnutých poznatkov v konkrétnych sférach života a ľudskej činnosti, teda v adaptačných opatreniach.

LITERATÚRA

- Balážovičová, L.–Majkútová, D.–Kučera, M., 2015, *Analýza vln chladu a vývoj počtu ľadových a arktických dní v Oravskej Lesnej a v Hurbanove od roku 1951 do roku 2013*. Meteorologický časopis 18(1): 3 – 8.
Birsan, M.-V.–Dumitrescu, A.–Micu, D.M.–Cheval, S., 2014, *Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961*. Natural Hazards 74(3): 1899 – 1910.
Bochníček, O.–Faško, P.–Markovič, L., 2017, *Heat waves according to warm spell duration index in Slovakia during 1901–2016*. Poster prezentovaný na: 19th EGU General Assembly Conference, Viedeň (Rakúsko), 23.–28.4.2017. [Abstrakt dostupný online na <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-6108.pdf>.]
Bochníček, O.–Faško, P.–Švec, M.–Markovič, L., 2016, *Heat waves and warm periods in Slovakia*. Poster prezentovaný na: 18th EGU General Assembly Conference, Viedeň (Rakúsko), 17.–22.4.2016. [Abstrakt dostupný online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-2086.pdf>.]

- Brázdil, R.–Budíková, M.–Faško, P.–Lapin, M., 1995, Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics. *Athmospheric Research* 37(1-3): 53–65.
- Christidis, N.–Stott, P.A., 2016, Attribution analyses of temperature extremes using a set of 16 indices. *Weather and Climate Extremes* 14: 24–35.
- ETCCDI, 2009, *Climate Change Indices: Definitions of the 27 core indices*. [Dostupné online na: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml.]
- Faško, P.–Šťastný, P.–Švec, M.–Kajaba, P.–Bochníček, O., 2013, Upward trends in time series of basic characteristics of air temperature at selected meteorological stations in Slovakia. Poster prezentovaný na: 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), Reading (United Kingdom), 9.–13.9.2013. [Dostupné online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2013/poster/13144>.]
- Frich, P.–Alexander, L.V.–Della-Marta, P.–Gleason, B.–Haylock, M.–Klein Tank, A.M.G.–Peterson, T., 2002, Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19(3): 193–212.
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ženeva, 151 p.
- Labudová, L.–Faško, P.–Ivaňáková, G., 2015, Changes in climate and changing climate regions in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23(3): 71–82.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Chmelík, M., 2005, Detection of climate change in the Slovak mountains. *Hrvatski meteorološki časopis* 40: 101–104.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Turňa, M.–Čepčeková, E., 2016, High temperatures and heat waves in Slovakia. *Meteorologický Časopis* 19(1): 3–10.
- Perkins, S.E.–Alexander, L.V.–Nairn, J.R., 2012, Increasing frequency, intensity and duration of observed global heat-waves and warm spells. *Geophysical Research Letters* 39(20): L20714.
- Sobišek, B. (ed.), 1993, *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Academia, 594 p.
- Spinoni, J.–Lakatos, M.–Szentimrey, T.–Bihari, Z.–Szalai, S.–Vogt, J.–Antofie, T., 2015, Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology* 35(14): 4197–4209.
- Švec, M.–Faško, P.–Labudová, L.–Výberčí, D.–Trizna, M., 2016, Dlhodobé zmeny vybraných charakteristik nadmerného tepelného stresu v lete na Slovensku. *Geographia Cassoviensis* 10(2): 193–203.
- Výberčí, D.–Pecho, J., 2018, Letné períody teplého počasia v období 1951–2017 na Slovensku, identifikované s využitím priestorových hodnôt teplotných charakteristik. *Meteorologický časopis* 21(1): 31–38.

TORNÁDO V LEKÁROVCIACH 3. OKTÓBRA 2018

MIROSLAV ŠINGER^{1,2}

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, miroslav.singer@shmu.sk

² Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Bratislava

We analyze the case of a tornado F1 associated with a supercell that occurred over eastern Slovakia in Lekárovce on October 3, 2018. Observations, soundings, as well as numerical weather models are used for analysis of synoptic and mesoscale conditions. Several features typical for supercells were detected by the radar located on Kojšovská hoľa. By combining all the available wind measurements (soundings, meteorological stations, and radar), we reconstructed a hodograph representative of environmental conditions 1–2 hours before the event. The conditions favored right-movers as well as the occurrence of mesocyclone tornadoes. It was possible to determine the intensity, size, trajectory, and evolution of tornado via combination of measurements with a large volume of eyewitness observations and tornado damage documentation.

V práci analyzujeme prípad supercelárneho tornáda F1, ktoré sa vyskytlo na krajinom východe Slovenska, v obci Lekárovce, 3. októbra 2018. Na analýzu synoptických a mezoškálových podmienok sme využili namerané dátá z pozemných meteorologických a aerologickej staníc, ako aj analýzy a krátkodobé predpovede numerických predpovedných modelov. Supercelu sme analyzovali prostredníctvom meraní rádiolokátora SHMÚ na Kojšovskej holi, ktorým sme identifikovali jej znaky ako mezociklóna a základné radarové črty. Kombináciou všetkých dostupných meraní vetra (aerologickej dátá, meteorologickej stanice a radar) sme zrekonštruovali hodograf, ktorý zodpovedal podmienkam v prostredí 1–2 hodiny pred udalosťou. Podmienky favorizovali vpravo stáčajúce sa supercely, ako aj výskyt mezociklonálneho tornáda. Vzhľadom na veľké množstvo pozorovaní tornáda, ako aj zaznamenaných škôd, bolo možné, v kombinácii s nameranými údajmi, so značnou presnosťou popísať časopriestorový vývoj tornáda, určiť jeho intenzitu, rozmer, trajektóriu a prejav v jednotlivých oblastiach.

Key words: tornado, supercell, radar features, vertical wind shear

ÚVOD

Tornádo predstavuje jeden z najnebezpečnejších javov v atmosfére. Rýchlosť vetra v ňom bežne presahuje 120 km.h^{-1} , pričom prúdenie v ňom a jeho okolí nie je len horizontálne, ale aj vertikálne, a navyše s výraznými zmenami na malom priestore. To často vedie k devastácii majetku a ohrozeniu ľudí, pričom v niektorých prípadoch dochádza aj k zraneniam, či úmrtiam. Tieto negatívne štatistiky sa však vo svete postupne darí eliminovať práve kvôli pretrvávajúcomu výskumu tornád, ako aj zlepšeniu varovného systému a ľahšej dostupnosti informácií.

Tornáda sa nevyhýbajú ani územiu Slovenska, čoho dôkazom sú viaceré prípady z minulosti. Zdokumentované prípady sú napr. Želiezovce 23.4.2014, Búč 5.6.2016, ale aj staršie napr. Budatínska Lehota 19.3.2001, Slovenská Ves 29.5.2001, či ďalšie, dostupné v databáze SHMÚ a ESWD (viac v časti Metodika). S výnimku prvého spomínaného prípadu, kedy bolo tornádo nasnímané, identifikácia pozostávala len z dokumentácie škôd a výpovedí náhodných pozorovateľov. Žiadne tornádo doposiaľ ani nebolo preukázaťne spojené s mezociklónou supercely (podozrenie však je v prípade tornáda v Slovenskej Vsi). Taktoýto prípad sa podarilo jednoznačne preukázať až 3. októbera 2018 v obci Lekárovce, ktorému sa budeme venovať v tejto prípadovej štúdie.

Tornádo zasiaholo obyvané oblasti a spôsobilo tak značné škody na majetku. Existuje množstvo záznamov a výpo-

vedí o škodách, ako aj o samotnom priebehu daného javu. Vzhľadom na nedávno inovovanú sieť rádiolokátorov SHMÚ, máme z prípadu k dispozícii aj radarové merania vo vysokom rozlíšení, na základe ktorých môžeme tornádo jednoznačne priradiť ku konkrétnej konvektívnej bunke a spoľahlivo identifikovať rotáciu výstupného prúdu supercely, ako aj jej typické radarové črty. V tomto článku popíšeme aj podmienky, ktoré viedli ku vzniku supercely, tornáda a prepojíme namerané údaje so zdokumentovaným priebehom javu, čo je hlavným cieľom práce, spolu s popisom vlastností tornáda, ako je napr. trvanie, rozmer, intenzita, trajektória, prípadne ďalšie zaujímavosti a zvláštnosti prípadu.

METODIKA

Na analýzu podmienok v prostredí sme využivali globálny hydrostatický model ECMWF s rozlíšením v strednej Európe cca 8 km a lokálny hydrostatický model ALADIN SHMÚ s 4,5 km rozlíšením, výstupy z nich sme zobrazovali softvéri IBL Visual Weather. Využívali sme analýzy z 12:00 UTC a krátkodobé predpovede do 2 hodín. Z týchto modelov sme využívali najmä výškové mapy a integrálne parametre (napr. CAPE, počítanú od zemskejho povrchu). Pre prízemné pozorovania sme využívali predovšetkým dátá z profesionálnych meteorologických staníc. Ďalším základným zdrojom dát boli aerologicke sondáže z Gánoviec a merania z rádiolokátora SHMÚ Kojšovská hoľa. Pri analýze podmienok sme

vychádzali z údajov 1–2 hodiny pred udalosťou, teda 12–14:00 UTC (väčšinou 12–13:00 UTC), pretože potom boli merania ovplyvnené vznikajúcou konvekciou. SYNOP uvádzame o 12:00 UTC, pretože merania z Užhorodu máme k dispozícii len každé 3 hodiny (teda 12, 15, 18 UTC...).

Hodograf bolo nutné zrekonštruovať špeciálne pre oblasť Východoslovenskej nížiny, pretože najbližšia aerologická stanica je v Gánovciach, a tá zle reprezentuje analyzovanú oblasť kvôli vysokej nadmorskej výške, ako aj špecifickej orografií v okolí Popradskej kotlinky, ktorá výrazne modifikuje prúdenie v spodných hladinách. Práve spodné hladiny sú pri vzniku tornáda klúčové, preto sme využívali merania zo staničnej siete. Využili sme stanice Vysoká nad Uhom, Orechová, Michalovce, Trebišov, Zlatá Baňa a Kojšovská hoľa. Stanica Zlatá Baňa sa nachádza pomerne ďaleko od analyzovanej oblasti, na severe Slanských vrchov, no výhodou je jej nadmorská výška 600 m, teda reprezentuje stredné polohy regiónu. V rámci vyšších polôh sme na analýzu využívali stanicu Kojšovská hoľa, ktorú s nadmorskou výškou 1250 m berieme v danej situácii ako reprezentatívnu pre prúdenie na hornej hranici vrstvy spodného kilometra. Nad úrovňou Kojšovskej hole už bolo možné využiť vertikálny profil vetra získaný z radaru, ako aj aerologickú sodnáz z Gánoviec.

Pri určovaní rýchlosťi bunky sme vychádzali z postupu mezocyclóny, ktorú sme identifikovali na základe WER (vysvetlenie v časti „Radarové merania“) v jednotlivých termínoch od 13:40 do 14:40 UTC na produkte CAPPI¹ 2 km z radaru Kojšovská hoľa. Na základe presunu hook echo (Markowski, 2002a) ponad Lekárovce sme určili aj rýchlosť postupu tornáda. Presný čas výskytu tornáda sa však touto metódou dá určiť len s odchýlkou 5 minút, pretože produkt CAPPI je dostupný k časovým krokom 5 minút, keďže je počítaný z objemových dát, ktoré sú získavané meraním trvajúcim viac ako 4 minuty.

Trajektóriu tornáda sme určovali podľa škôd, ktoré zdokumentoval Martin Žec. Z týchto fotografií, ako aj z videí od náhodných pozorovateľov a priemyselných kamier, sme vychádzali pri odhadovaní rozmeru, trvania, času výskytu a intenzity tornáda.

Ďalšie informácie o škodách a tornádach z minulosti sme získovali z databáz ESWD (European Severe Weather Database), galérie SHMÚ, databázy tornád SHMÚ (<http://www.shmu.sk/sk/?page=1337>), ako aj záznamov náhodných pozorovateľov, ktorí zverejnili svoje fotografie na facebookom profile SHMÚ.

ANALÝZA SITUÁCIE

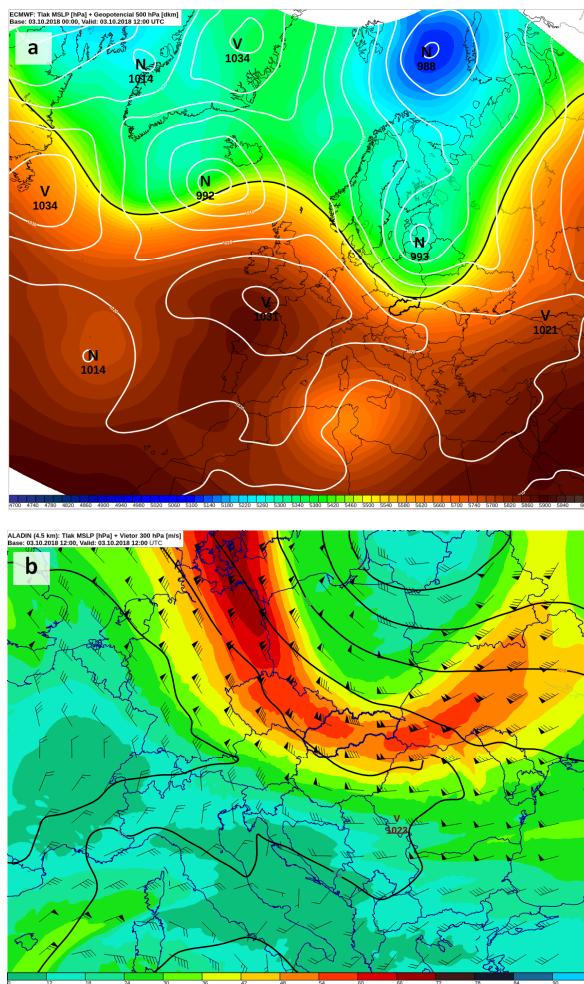
Synoptická situácia 3. 10. 2018

Územie Slovenska sa 3. októbra nachádzalo na juhovýchodnom okraji tlakovej níže, ktorej stred sa presúval z oblasti Baltského mora nad Bielorusko. Táto bola vzhľadom na pokročilú fázu svojho vývoja už vyjadrená aj vo vyšších hladinách (Obr. 1a). Po jej zadnej strane prúdil do strednej Európy od severozápadu chladný morský vzduch. Dýzové

prúdenie sa nachádzalo na periférii výškovej brázdy, cez strednú Európu od severozápadu na juhovýchod (Obr. 1b).

Obrázok 1. a – Analýza modelu ECMWF, tlak vzduchu prepočítaný na hladinu mora (biele izociáry) a geopotenciál 500 hPa (šedá škála); b – Analýza modelu ALADIN, tlak vzduchu prepočítaný na hladinu mora (čierne izociáry) a prúdenie v hladine 300 hPa (farebná škála a symboly vetra).

Figure 1. a – Analysis of NWP model ECMWF, mean sea level pressure (isolines) and geopotential 500 hPa (grayscale), b – Analysis of NWP model ALADIN, mean sea level pressure (black isolines) and wind at 300 hPa (color scale and wind bars).



Mezoškálové podmienky - metódā prisad

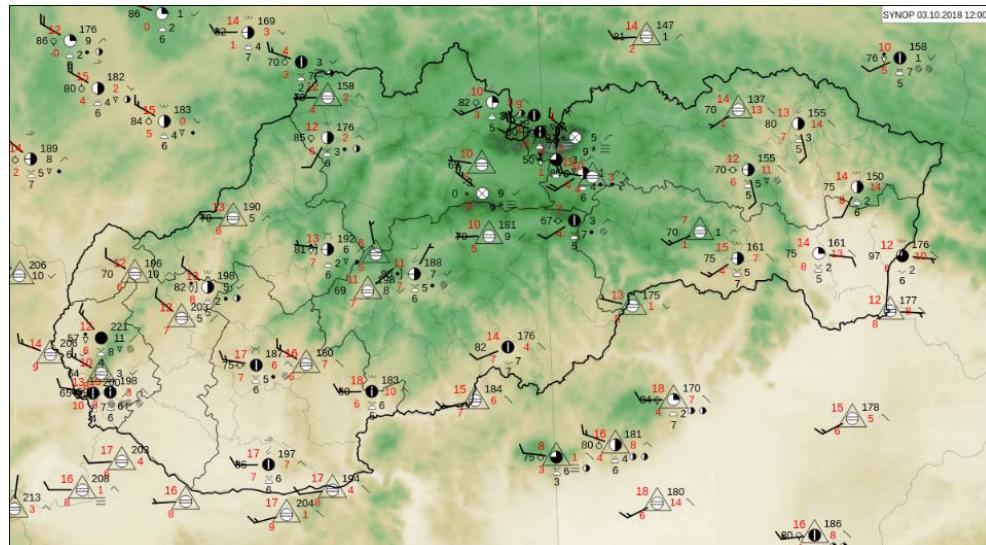
Brázda nízkeho tlaku vzduchu spojená so spomínanou tlakovou nízou popoludní prechádzala ponad východné Poľsko a Slovensko. Teplota rosného bodu bola na Východoslovenskej nížine pred výskytom supercely okolo 8 °C (Obr. 2), vertikálny teplotný gradient v strednej troposfére bol približne 7 °C.km⁻¹ (Obr. 3a) a podľa modelu ALADIN CAPE dosahovala hodnoty 300–500 J.kg⁻¹ (Obr. 3b). Vývoj hlbokej konvekcie však prebiehal len do nadmorskej výšky približne 5 až 5,5 km, pretože sa tu nachádzala inverzná vrstva (Obr. 4a), ktorá zabráňovala mohutnejšiemu vývoju kopovitej oblačnosti.

V prízemnej vrstve cez strednú Európu prechádzali na juhovýchod jednotlivé čiary konvergencie. Jedna z nich

¹ CAPPI – Constant Altitude Plan Position Indicator – rádiolokačná odrazivost v určitej hladine.

Obrázok 2.
SYNOP, 12:00 UTC
(o 13:00
v záujmovom
regióne podobné
podmienky).

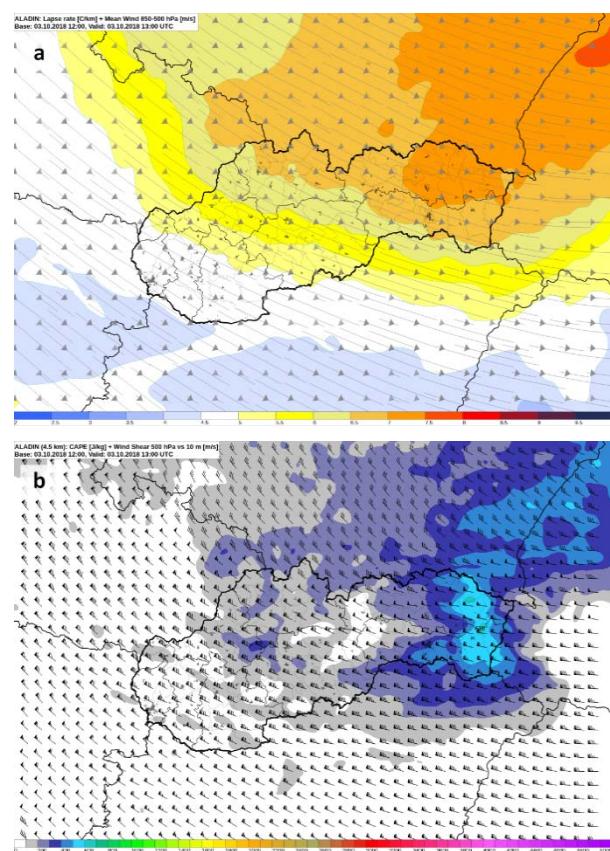
Figure 2.
SYNOP, 12:00 UTC
(at 13:00 similar
conditions
in the area).



pomaly prechádzala cez Východoslovenskú nížinu až cca 1–2 hodiny po výskytu bunky, ktorá vyprodukovala tornádo, no mohla mať vplyv na jej iniciáciu.

Obrázok 3. Krátkodobá predpoved modelu ALADIN, 13:00 UTC; a) vertikálny teplotný gradient (farebná škála) a priemerné prúdenie vo vrstve 500–850 hPa, b) CAPE (farebná škála) a vertikálny strih vetra medzi hladinami 500 hPa a 10 m (symboly vetra).

Figure 3. Short-range forecast of NWP model ALADIN, 13:00 UTC; a) lapse rate (color scale) and mean wind in the layer 500–850 hPa, b) CAPE (color scale) and wind shear between 500 hPa and 10 m (wind bars).



Mezoškálové podmienky – strih vetra

V prízemnej vrstve fúkal pred prechodom čiary konvergencie na východnom Slovensku v nižších polohách zväčša južný až juhovýchodný vietor, no vplyvom orografie boli v prúdení odchýlky (Obr. 2). Na Východoslovenskej nížine fúkal podľa všetkých dostupných staníc (Michalovce, Trebišov, Orechová, Vysoká nad Uhom, Užhorod) východný vietor $2\text{--}5 \text{ m.s}^{-1}$. Podľa týchto meraní vetra sме v kombinácii s aerologickej sondážou z Gánoviec a údajov o vetre z radaru Kojšovská hoľa zrekonštruovali vertikálny profil prúdenia a zhotovili hodograf (Doswell, 1991) prezentovaný na obrázku 4c.

Hodograf bol v spodnom kilometri konkávne zakrivený, čo bolo spôsobené výraznou zmenou smeru vetra s rastúcou výškou z východného, cez južný, až na západný až severozápadný. Nad touto vrstvou bol hodograf takmer rovný, teda smer vetra sa takmer nemenil, no výrazne sa zvyšovala jeho rýchlosť², v nadmorskej výške 1500 m 12 m.s^{-1} , v 3 km až 25 m.s^{-1} ². V prostredí tak bol veľmi silný vertikálny strih vetra, medzi povrhom a hladinou 3 km: 25 až 30 m.s^{-1} , čo viedlo k vzniku vpravo stáčajúcej sa supercely (Thompson a kol., 2003; Markowski a Richardson, 2010). Vzhľadom na významnú zmenu smeru vetra už v spodnom kilometri až o cca 180° , navyše s vertikálnym strihom vetra 12 m.s^{-1} , išlo o prostredie so streamwise vorticito³ (Markowski a Richardson, 2010), čo predstavuje veľmi vhodné podmienky pre vznik supercelárneho tornáda⁴ (Coffer a Parker, 2017).

² Veľmi silný strih vetra bol aj v štandardne sledovanej vrstve medzi povrhom a hladinou 500 hPa, až cez 40 m.s^{-1} , no vzhľadom na vertikálnu mohutnosť analyzovanej bunky je vhodnejšie sledovať strih v plynnej vrstve medzi povrhom a 3 km (700 hPa).

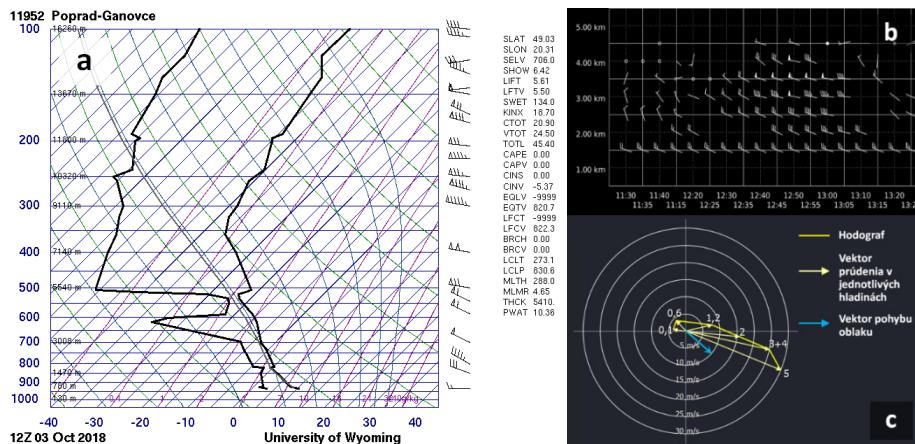
³ Streamwise vorticita – vorticita v prostredí s konkávne zakriveným hodografom, ako napr. obr. 4c; v prostredí s rovným hodografom (napr. takom, kde s rastúcou výškou narastá len rýchlosť vetra, no smer sa nemení) hovoríme o crosswise vorticite.

⁴ Supercely v prostredí so slabým strihom vetra v spodnom kilometri zvyčajne nevyprodukujú tornádo.

Obrázok 4.
 a – Skew-T, Gánovce,
 3. 10. 2018, 12:00 UTC;
 b – vertikálny profil vetra
 podľa radaru Kojšovská hoľa;
 c – zrekonštruovaný hodograf
 v oblasti tornáda (popis v teste).

Figure 4.

a – Skew-T, Gánovce,
 3. 10. 2018, 12:00 UTC;
 b – vertical wind profile measured by radar Kojšovská hoľa;
 c – reconstructed hodograph valid for the tornado location.

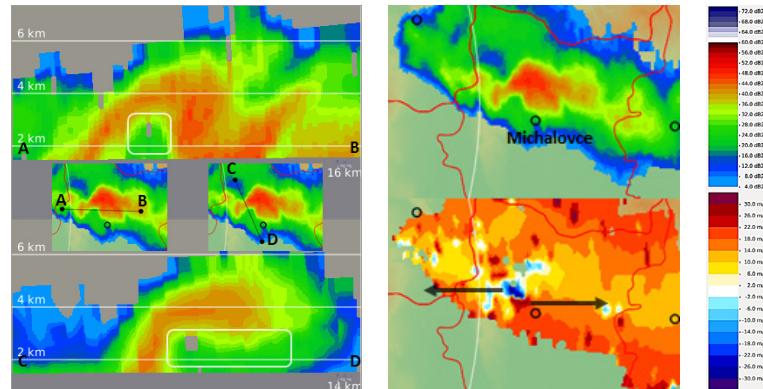


Obrázok 5. Vľavo – vertikálne rezy supercely pri Michalovciach na úsečkách AB a DC, v bielych rámkoch radarové črtky WER a BWER (popis v teste); vpravo – identifikácia rotácie v supercele na elevácii 1,5°, šípky predstavujú prúdenie k radaru a od radaru; všetky obrázky v čase 13:50 UTC.

Figure 5.

Left – vertical cross-section through supercell near Michalovce. Cross-section is indicated by AB and CD segments. White rectangles indicate the location of WER and BWER features.

Right – Doppler velocities at 1.5° elevation, arrows indicate velocities towards and away from the radar. All radar images from 13:50 UTC.



Radarové merania

Prvé konvektívne bunky začali vznikať v západoseverozápadnom prúdení medzi Slanskými vrchmi a Vihorlatom okolo 12:30 UTC. O 13:40 UTC sa v zhluku viacerých buniek vyvinula jedna mohutnejšia juhovýchodne od Vihorlata nad obcami Nacina Ves, Nižný Hrušov a Lesné. Už v danom čase vykazovala supercelárne črty ako hook echo a WER⁵, v ďalšom vývoji aj BWER⁶ (Markowski a Richardson, 2010), ktoré signalizujú silný výstupný prúd supercely a na radarových snímkach tak pozorujeme len slabé hodnoty odrazivosti. Detegovali sme aj výraznejší odklon v pohybe bunky doprava oproti ostatným nesupercelárny bunkám, čo je taktiež typický znak supercely. Prostredníctvom dualpolarizačného radaru na Kojšovskej holi sme v oblasti WER a BWER zaregistrovali aj rotáciu, čím sme objektívne identifikovali mezocyklónu supercely (Brown a Wood, 1991). Príklad spomínaných črt uvádzame na obrázku 5, rez AB predstavuje BWER, rez CD WER (v bielych rámkoch). Taktiež vidieť, že bunka siahá len do nadmorskej výšky cca 5 km.

⁵ WER – Weak Echo Region – oblasť slabej rádiolokačnej odrazivosti, nízkoohladičová črta (zväčša do 3 km).

⁶ BWER – Bounded Weak Echo Region – ohraničená oblasť slabej rádiolokačnej odrazivosti, črta v stredných hladinách oblaku (zväčša 2–7 km).

VÝVOJ A DOKUMENTÁCIA TORNÁDA A ŠKÔD

Supercela po väčšinu existencie nemala veľmi nebezpečné prejavy. V Michalovciach padali krúpy s priemerom do 2 cm, vo Vysokej nad Uhom náraz vetra 13 m.s⁻¹, tornádo však vyprodukovala až v záverečnej fáze.

Tornádo vzniklo severozápadne od obce Lekárovce, na juhovýchodnom okraji hook echo⁷, čo je v rámci supercely typické miesto, kde sa vyskytujú tornáda spojené s mezocyklónou. Na obrázku 6 je vyznačená typická poloha tornáda v rámci supercely, ako aj radarové črty a jej predný a zadný zostupný prúd (RFD a FFD - Rear/Forward Flank Down-draft).

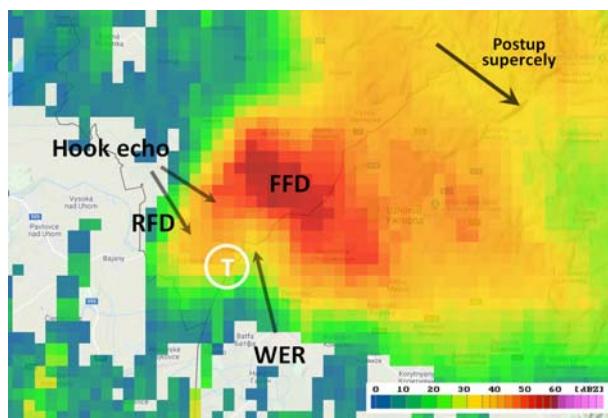
Podľa výpovedí svedkov a kamerových záznamov tornádo trvalo cca 10 minút a vzniklo severozápadne od obce Lekárovce pri rieke Uh krátka po 14:30 a zaniklo po 14:40 UTC východne od nej, v okolí hraníc s Ukrajinou. Tornádo spôsobilo rozsiahle škody na majetku najmä v južnej časti obce. Boli poškodené alebo strhnuté strechy, poškodené elektrické vedenie, polámané alebo vyvrátené stromy (aj malé stromy), spadnuté humná, poškodené steny, a pod. Škody boli zaznamenané vo veľkej časti obce, pretože tornádo postupovalo približne v smere, v akom sú orientované aj hlavné ulice južnej časti obce, teda od severozápadu na juhovýchod. Na obrázku 7 uvádzame

⁷ Hook echo nesignalizuje prítomnosť tornáda.

približnú trajektóriu tornáda spracovanú podľa zaznamenaných škôd vyznačených v obrázku. Odhadujeme, že tornádo sa pohybovalo rýchlosťou 10 m.s^{-1} a prešlo 3 až 3,5 km. Na obrázku 8 prezentujeme niekoľko fotografií, ktoré zhotovil Martin Žec 3 dni po udalosti. V rámci obce boli najvýraznejšie škody v okolí družstva (oblasť A) a v okolí pošty a kostola (oblasť B). Na základe zaznamenaných škôd a prejavov tornáda klasifikujeme ako F1 Fujitovej stupnice sily tornád (Fujita, 1971b).

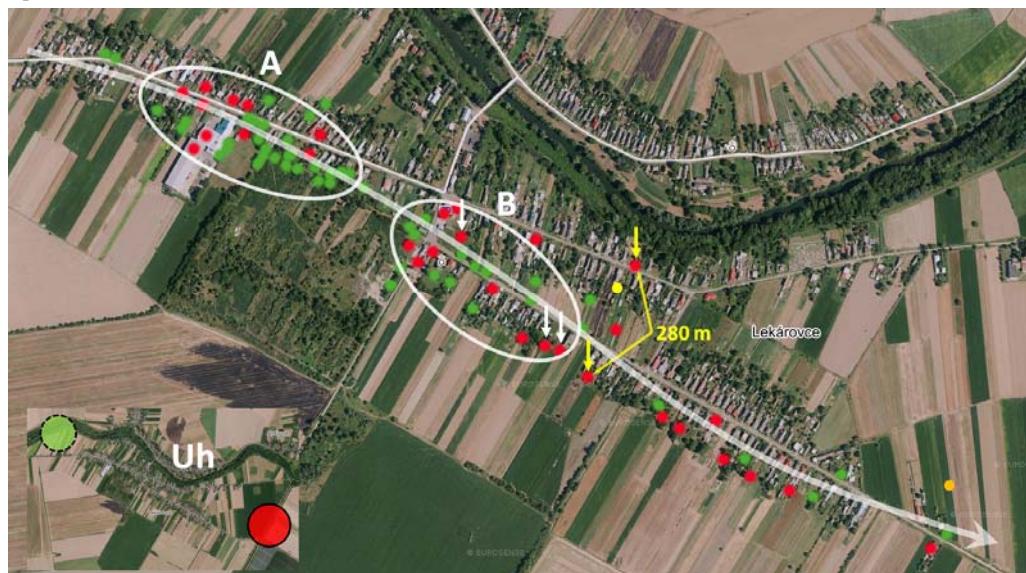
Obrázok 6. Štruktúra klasickej supercely pri prechode cez Lekárovce. Radarová snímka CAPPI 2 km na podklade google maps, 14:30 UTC.

Figure 6. Classic supercell structure on the CAPPI 2 km elevation at 14:30 UTC with google maps as a background. White circle and symbol T indicate location of the tornado.



Obrázok 7. Zaznamenané škody v Lekárovcach v mapovej forme. Veľká biela šípka je predpokladaná trasa tornáda; červené krúžky predstavujú škody na stavbách a objektoch, ako sú strechy, múry, stĺpy a pod.; zelené krúžky sú škody na vegetácii; biele zvislé šípky predstavujú spadnuté humná; elipsy A a B reprezentujú oblasti najväčších, F1, škôd; žlté šípky sú najvzdialenejšie zničené strechy (kolmo na trajektóriu tornáda); žltý krúžok reprezentuje pozorovateľa 1 (Obr. 9), oranžový pozorovateľa 2 (Obr. 10); malý obrázok vľavo dolu predstavuje predpokladané miesto vzniku a zániku tornáda; podkladová mapa eurosense maps.

Figure 7. (main figure) Locations of tornadic damage locations plotted on the map of village Lekárovce. Big white arrow represents the tornado trajectory, red circles damage to man-made structures and green circles damage to vegetation. Ellipses A and B correspond to the most severe, F1, damage. White arrows pointing down indicate collapsed barns, yellow arrows point at the most distant damage points in the tornado path. Yellow and orange circles denote the location of observers, who took videos (Fig. 9 and 10). (bottom right) Green and red circles represent the beginning and the end of the tornado path. background map: eurosense maps.



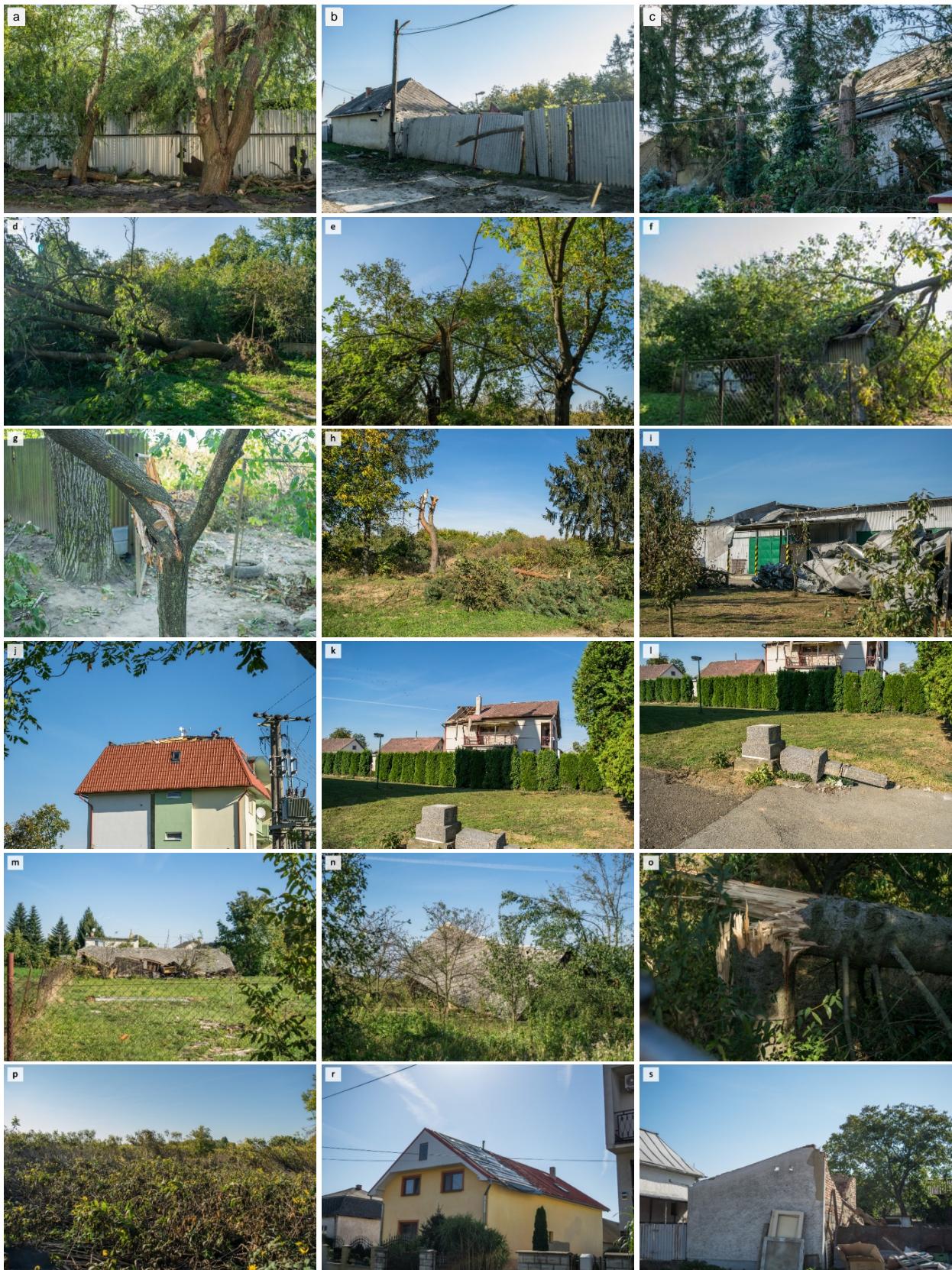
Dvom náhodným pozorovateľom sa podarilo tornádo zachytiť na videozáznam (ich poloha je vyznačená na Obr. 7). Prvému pozorovateľovi (na obr. žltý krúžok) sa pravdepodobne podarilo z veľmi malej vzdialenosťi nasnímať tzv. savý vír tornáda (vír na menšej škále, ktorý obieha po orbite materského tornáda) (Fujita, 1971a) zobrazený na obrázku 9a. Savý vír typicky obieha po periférii materského tornáda a často spôsobuje veľké, no veľmi lokálne škody, bežne významnejšie ako materské tornádo. V tomto prípade došlo k strhnutiu strechy len susedného domu (Obr. 9b,c). Okolo výskytu tohto savého víru je však viacero pochybností. Z videa, z ktorého sú zhotovené aj obrázky 9, je možné určiť, že savý vír postupuje na sever, kde postupne zničí strechu. Je to však pomerne ďaleko od južného okraja obce, kde boli najvýraznejšie škody. 280 m južne boli zváľané humná (Obr. 8m,n) a strhnutá strecha a zvalená stena malého domčeka (Obr. 8s). Z toho vyplýva, že cirkulácia tornáda mohla mať v danej oblasti až takmer 300 m v priemere.

Druhý pozorovateľ zachytil okolo 14:40 UTC odchádzajúce tornádo na krajinom východe obce. Na obrázku 10 vidieť, že tornádo nebolo skondenzované, ale bolo pozorovateľné len ako rotujúci prach s dosť veľkou oblasťou rotácie. Z obrázku 10a a videozáznamu odhadujeme oblasť rotácie na minimálne 70–100 m, pričom šírka tornáda sa postupne zmenšovala (Obr. 10b).

Prechod tornáda bol zachytený aj HD kamerami na družstve, na severozápadnom okraji obce. Na obrázku 11 je niekoľko obrázkov, ktoré prezentujú, ako tornádo veľmi ľahko strháva strechy a ničí ďalší majetok (napr. letiaca strecha na Obr. 11c).

Obrázok 8. Fotografie škôd po tornáde zhotovené 6.10.2018, väčšinou zlamané alebo vyvrátené stromy a zničené strechy, b) veľkou rýchlosťou zapichnutý konár v ploze; g), h) zlomené aj malé stromy; l) vyvrátený kamenný kríž; m), n) spadnuté humná; p) zváľané chrasťie; s) zničená strecha popísaná v obrázku 7; autor: Martin Žec.

Figure 8. Photos of tornado damage taken on 6. 10. 2018 showing broken and uprooted trees or damaged roofs and b) branch penetrating the fence; g), h) small trees broken; l) broken stone memorial; m), n) collapsed barns; p) flattened vegetation; s) destroyed roof described in Figure 7; author: Martin Žec.



Obrázok 9.

Obrázky zhotovené z videa
cca 14:37 UTC zobrazujúce
(a) savý výr,
(b) a (c) odtrhnutie časti
strechy, poloha pozorovateľa
je na obrázku 7;
zdroj: pravda.sk, Ján Kasarda.

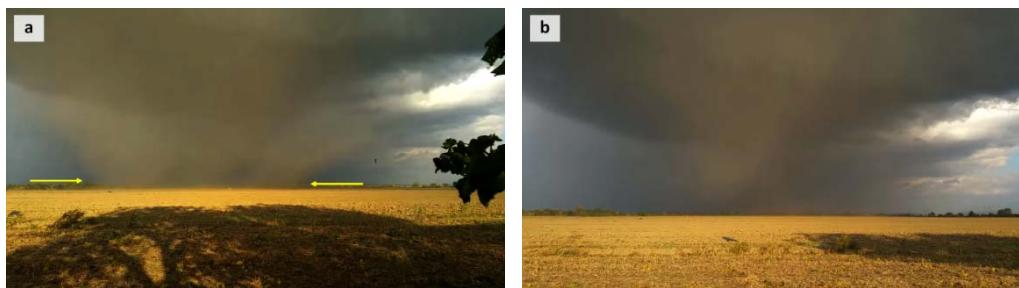
Figure 9.

Screenshots from video, taken
at around 14:37 UTC showing
(a) photo of suction vortex,
(b) and (c) damage inflicted
to the roof, the location of
observer in figure 7;
source: pravda.sk, Ján Kasarda.



Obrázok 10. Obrázky z videa odchádzajúceho tornáda okolo 14:40 UTC. Časový odstup medzi obrázkami je cca 1 minúta, žlté šípky ukazujú rozmer tornáda identifikovaný na základe rotácie prachu pozorovateľnej na videu <https://www.youtube.com/watch?v=MpIYIQigJAo>, autor: Jaro Goril', poloha pozorovateľa v rámci obce je na obrázku 7.

Figure 10. Video screenshots showing departing tornado around 14:40 UTC. Time difference between individual shots is app. 1 minute. Yellow arrows indicate approximate width of tornado, author: Jaro Goril', <https://www.youtube.com/watch?v=MpIYIQigJAo>, the location of observer in figure 7.



Obrázok 11. Obrázky z HD kamier na družstve v Lekárovciach počas prechodu tornáda v čase 14:35–14:36 UTC, zábbery poskytol Mgr. Peter Sudzina z firmy NOP, a. s.

Figure 11. Screenshots from HD cameras from agronomical building in Lekárovce during tornado event between 14:35 and 14:36 UTC, pictures provided Mgr. Peter Sudzina, NOP, a. s. company.



DISKUSIA A ZÁVER

Výnimočnosť tornáda v Lekárovciach spočíva predovšetkým vo veľkom množstve dokumentačného materiálu, kvalitných meraní a radarových dát, na základe ktorých bolo možné spraviť podrobnejšiu analýzu prípadu. Tornádo spôsobilo rozsiahle škody na majetku a porastoch vo veľkej časti obce, pretože prechádzalo v smere hlavných ulíc od severozápadu na juhovýchod, no nikto nebol zranený. V práci sme na základe zdokumentovaných škôd a samotného tornáda zanalyzovali jeho trajektóriu a zistili sme, že najintenzívnejšie prejavy malo v južnej časti obce približne v prvej polovici trajektórie. Trvalo cca 10 minút, sírku malo desiatky metrov, postupne zrejmé viac ako 100 m, celkovú trajektóriu sme odhadli na 3–3,5 km a rýchlosť postupu v priemere 10 m.s⁻¹.

Prípad potvrdil aj poznatky z literatúry, že vertikálny strih vetra je kľúčový parameter (Davies-Jones a kol., 2001), ktorým je možné vyhodnocovať podmienky pre vznik superciel alebo tornád. V práci sme prezentovali priam ukážkové strihové podmienky – na vznik superciel v rámci spodnej a strednej troposféry vo vrstve 0–3 km 25–30 m.s⁻¹, ako aj na vznik tornád v spodnej troposfére 0–1 km 10–12 m.s⁻¹. Pri vhodných podmienkach na vývoj hlbokej konvekcie vznikla v prostredí so silným strihom vetra supercela, pričom v jej neskoršom štádiu vývoja došlo aj k vzniku tornáda, ktorého intenzitu sme na základe zdokumentovaných škôd stanovili na F1 Fujitovej stupnice.

Hoci vertikálny strih vetra bol veľmi silný, podmienky z hľadiska metód ingrediencií na vývoj hlbokej konvekcie výrazne neboli. CAPE bola podľa modelu ALADIN len 300–500 J.kg⁻¹, čo nie sú vysoké hodnoty, no ako ukázal aj tento prípad, v prostredí so silným strihom vetra sú dostačné na vznik nebezpečných konvektívnych javov (prostredie v literatúre označované ako high shear low CAPE).

Pri analýze videí sme identifikovali aj ďalší malý vír pomerne ďaleko od oblasti najvýraznejších škôd. S veľkou pravdepodobnosťou šlo o savý vír, z čoho vyplýva, že cirkulácia materského tornáda bola v danom čase veľmi rozsiahla, v priemere minimálne 280 m.

Článok predstavuje prepojenie analýzy podmienok, meraní a zdokumentovaných škôd, no na úspešnosť predpovede numerických modelov, ako aj na možnosti výskumu sme sa nezameriavali. V ďalšom výskume prípadu by tak bolo vhodné porovnať namerané dátá s predpovedou numerických modelov, prípadne sa zamerať na numerické modelovanie situácie prostredníctvom nehydrostatických

modelov schopných vyhodnotiť genézu streamwise vorticity, ktorá sa ukazuje kľúčová pri vzniku tornáda spojeného s mezocyklónou supercely.

Poděkovanie

Vďaka patrí predovšetkým Martinovi Žecovi, ktorý na vlastné náklady vycestoval z Košíc do Lekároviec a zdokumentoval škody a výpovede miestnych obyvateľov, získal videozáZNAM z priebehu tornáda, zhotoval mapku škôd na obrázku 7 a s autorom článku konzultoval ďalšie podrobnosti ohľadne upresňovania charakteru a lokalizácie škôd v jednotlivých častiach obce. Tento dokumentačný materiál a informácie výrazne zvýšili možnosti analýzy.

Dakujeme aj občanom Lekároviec za ochotu pri poskytovaní informácií a zdieľaní fotografií a videí o jave a vzniknutých škodách.

LITERATÚRA

- Brown, R.A.–Wood, V.T., 1991, *On the Interpretation of Single-Doppler Velocity Patterns within Severe Thunderstorms. Wea. Forecasting*, 6, 32–48.
- Coffer, B.E.–Parker, M.D., 2017, *Simulated Supercells in Non-tornadic and Tornadic VORTEX2 Environments. Mon. Wea. Rev.*, 145, 149–180.
- Davies-Jones, R.R.–Trapp, J.–Bluestein, H.B., 2001, *Tornadoes and tornadic storms. Severe Local Storms, Meteor. Monogr.*, No. 50, 167–221.
- Doswell, C.A. III, 1991, *A review for forecasters on the application of hodographs to forecasting severe thunderstorms. Nat. Wea. Dig.*, 16 (1), 2–16.
- Doswell, C.A. III–Burgess, D.W., 1993, *Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. The Tornado: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards, Geophys. Monogr.*, No. 79. Amer. Geophys. Union, 161–172.
- Fujita, T.T., 1971a, *Proposed mechanism of suction spots accompanied by tornadoes. Preprints, Seventh Conf. Severe Local Storms, Boston*, 208–213.
- Fujita, T.T., 1971b, *Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity, SMRP research paper, University of Chicago*, vol. 91, 42 pp.
- Markowski, P.A., 2002a, *Hook echoes and rear-flank down-drafts: A review. Mon. Wea. Rev.*, 130, 852–876.
- Markowski, P.–Richardson, Y., 2010, *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. Wiley-Blackwell, 407 pp.
- Thompson, R.–Edwards, R.–Hart, J.–Elmore, K.–Markowski, P., 2003, *Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. Wea. Forecasting*, 18, 1243–1261.

INFORMÁCIE

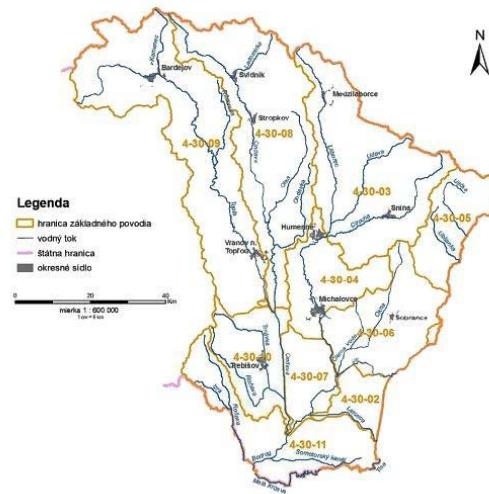
INFORMATION

SÚČINNOSŤ HYDROPROGNÓZNEJ SLUŽBY S METEOROLOGICKOU A SYNOPTICKOU SLUŽBOU POČAS POVODNE V POVODÍ BODROGU V DECEMBRI 2017

Striedanie obdobia sneženia a oteplenia na východnom Slovensku a Zakarpatskej Ukrajine na prelome rokov 2017–2018 vytvorili na Uhu a Latorici napäťu povodňovú situáciu s významnosťou 5–10 ročnej vody trvajúcu dva mesiace. Prevlhčené povodie spôsobovalo pozvoľné poklesy. Výrazné poklesy na väčšine územia nastali až 11.1.2018 po ochladení pod bod mrazu.

Povodňovou situáciou na Bodruhu a jeho prítokoch sa zaoberal Slovenský hydrometeorologický ústav v spolupráci s Hydromet službou v Užhorode.

Obrázok 1. Čiastkové povodie Bodruhu.



V druhej decembrovej dekáde v roku 2017 bolo predchádzajúce chladné obdobie so snežením vystriedané obdobím s prudkým oteplením a tekutými zrážkami. Počas chladného obdobia na konci novembra a na začiatku decembra sa zásoby vody systematicky kumulovali v snehovej

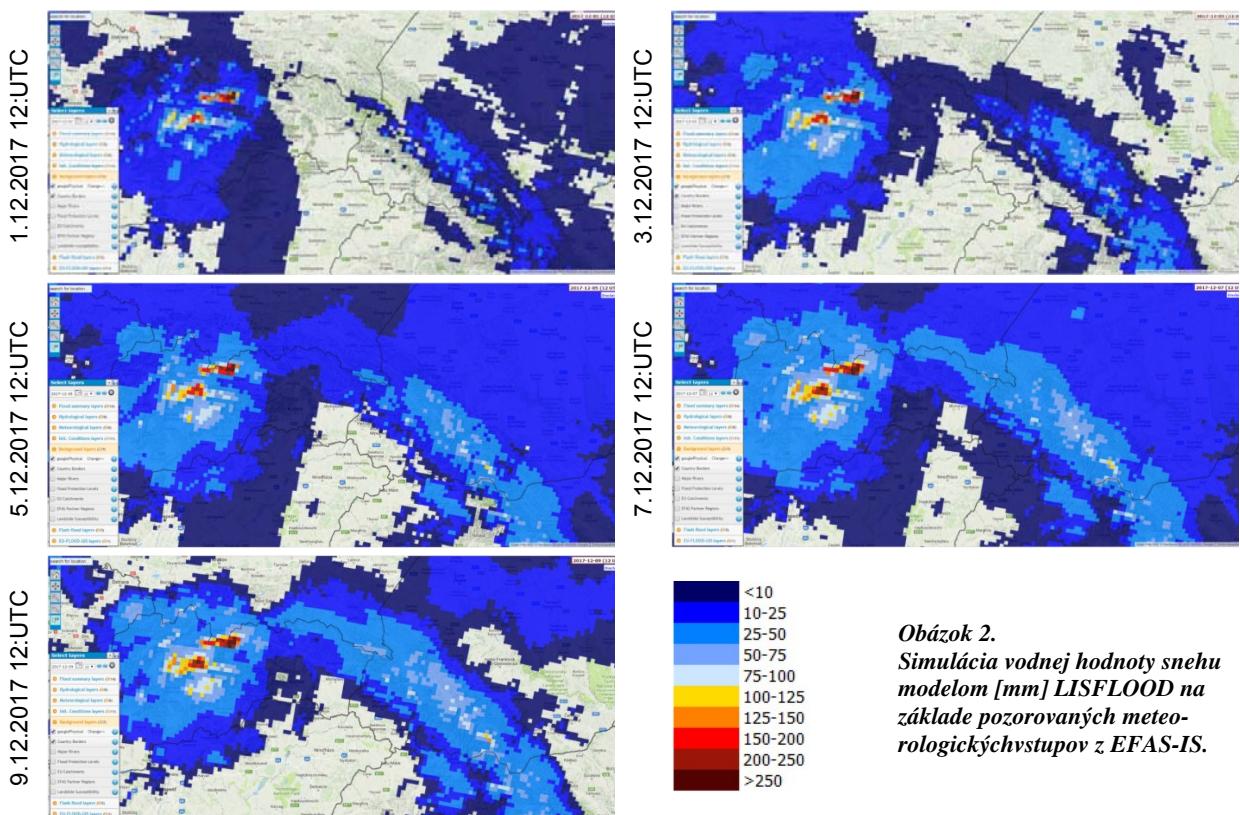
pokrývke. Začiatkom decembra sa takmer v celom povodí nachádzala súvislá snehová pokrývka. Z hľadiska veľkosti zásob vody v snehovej pokrývke, práve 11.12. bol v celom povodí Bodruhu zaznamenaný v poradí druhý najväčší objem vody v snehovej pokrývke v zime 2017/2018.

Chladné obdobie vystriedalo oteplenie, ktoré zvýraznilo problémy odtoku vody. Zemský povrch bol po predchádzajúcim mrazivom období zamrznutý, a tak sa odtok vody z topiacej sa snehovej pokrývky zrýchľoval.

Povodňová situácia v druhej decembrovej dekáde bola zapríčinená už spomínaným oteplením spojeným s výdatnými tekutými zrážkami. Spojenie týchto dvoch faktorov, ktoré tentokrát zasiahli východné Slovensko a západnú časť Ukrajiny, spolu s existenciou snehovej pokrývky hlavne vo vyšších nadmorských výškach, spôsobilo vzostup vodných hladín na viacerých tokoch východného Slovenska.

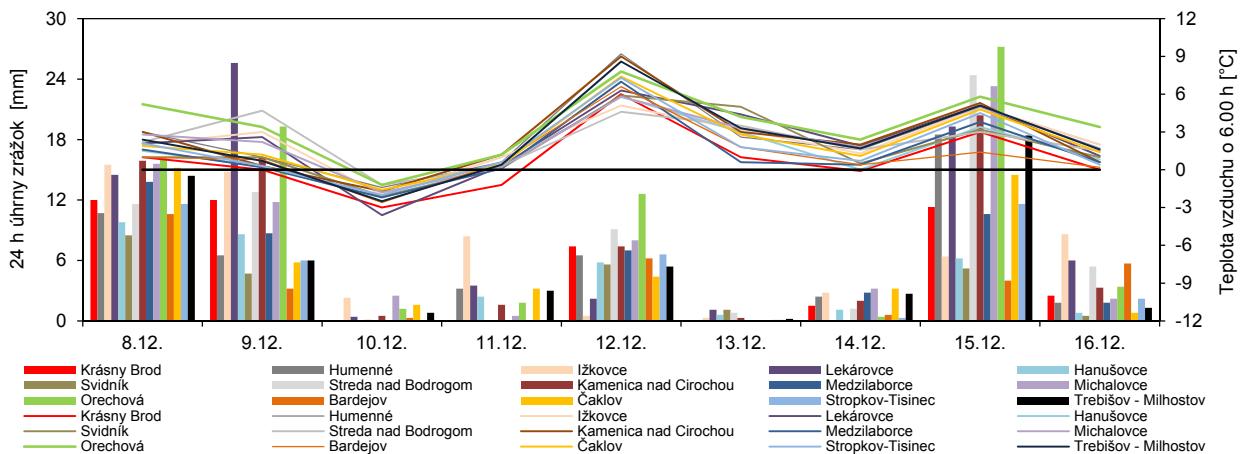
Meteorologická situácia v zime 2017–18 nebola nezvyčajná. Ročný chod zrážkových úhrnov na našom území sa vyznačuje hlavným maximom v júni, miestami v júli. Takto ročný chod zrážkových úhrnov zodpovedá pevninskému typu miernych zemepisných šírok. Typické pre južnú časť nášho územia, do ktorého patrí aj VSN, je druhotné maximum, ktoré sa objavuje v novembri alebo v decembri. Je dôsledkom vplyvu subtropického stredomorského typu ročného chodu zrážok, ktorý sa vyznačuje maximom v zime. [1]

V prvej dekáde mesiaca prišlo prvé výrazné oteplenie spojené so zrážkami. Väčšina zrážok spadnutých na východe Slovenska za obdobie od 8.12. do 16.12. bola v tekutom skupenstve. Zrážky sa vyskytovali počas celého mesiaca. Najvyššie denné úhrny zrážok nad 20 mm boli namerané 8., 9. a 15. decembra na krajinom východe územia, 15.12. v oblasti Bukovských vrchov až do 37 mm. Maximálny úhrn (38,0 mm) sme zaznamenali 15.12. v stanici Zboj. V ten istý deň boli namerané vysoké úhrny zrážok, od 23 mm do 54 mm aj na západnej Ukrajine. Zároveň bol mesiac december teplotne nadnormálny až silne nadnormálny, a najteplejšia bola práve tretia decembrová pentáda. Absolútne maximá teploty vzduchu sa vyskytli prevažne 12.12., vystúpili na 5,2 až 11,6 °C, najteplejšie bolo 12.12. v Červenom Kláštore a v Kamenici nad Cirochou. [2]

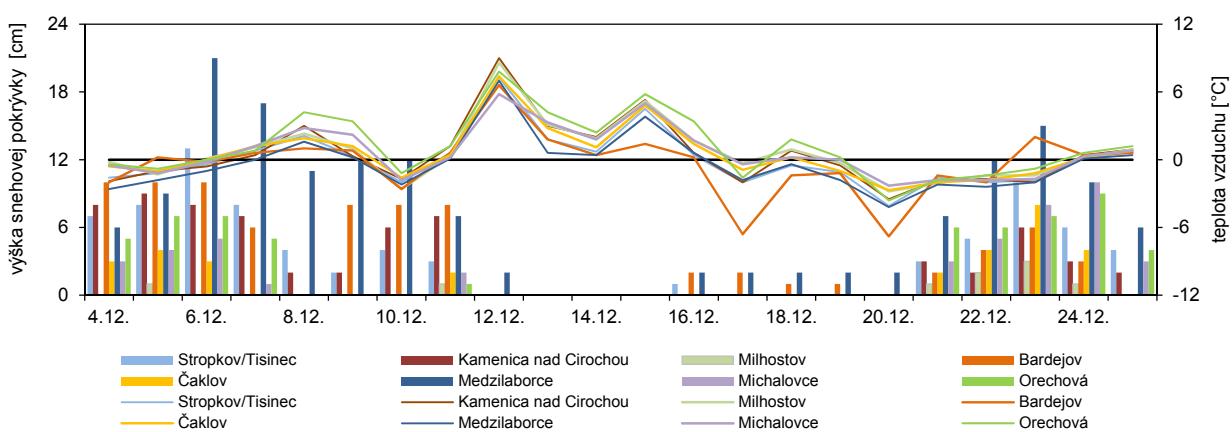


Obázok 2.
Simulácia vodnej hodnoty snehu
modelom [mm] LISFLOOD na
základe pozorovaných meteo-
rologických chvstupov z EFAS-IS.

Obrázok 3. Denné úhrny zrážok a teploty vzduchu na slovenských staniciach v povodí Bodrogu.



Obrázok 4. Výška snehovej pokrývky a teplota vzduchu o 7:00 vo vybraných staniciach (SK) v povodí Bodrogu.



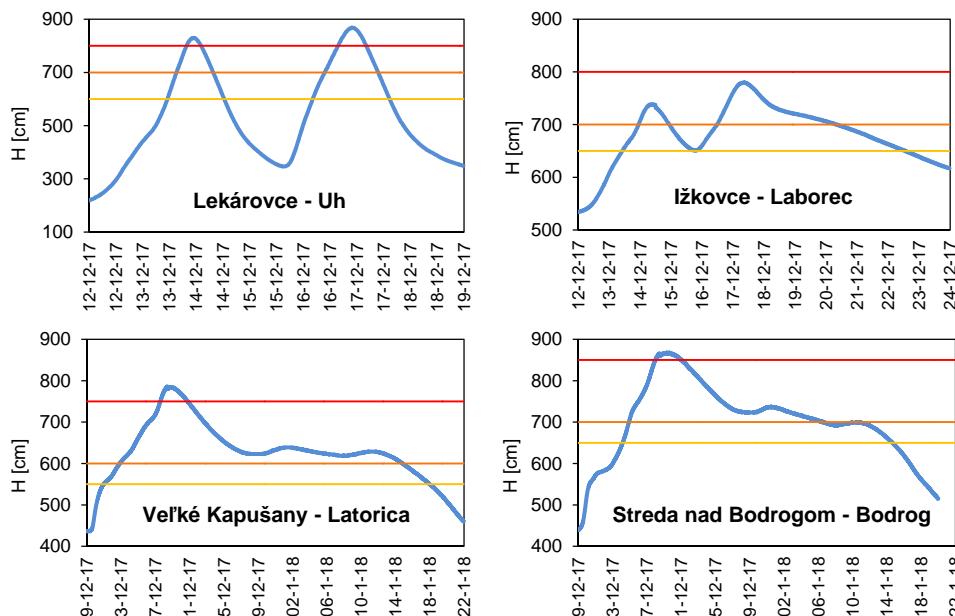
Tabuľka 1.
Tabuľka kulminácií
v povodí Bodrogu
v decembri 2017.

Stanica	Tok	Dátum	Hodina	H_{\max} [cm]	Q_{\max} [$m^3 s^{-1}$]	N-ročnosť	Stupeň PA
Jabloň	Výrava	13.12.	7:15	131	13.8	<1	1.
Koškovce	Laborec	13.12.	7:45	164	69.8	<1	1.
Humenné	Laborec	13.12.	8:45	268	183	<1	1.
Michalovce - Žabjany	prítok do nádrže	13.12.	19:15	407	98.5	-	1.
Lekárovce	Uh	13.12.	22:45	830	493	1	3.
Ižkovce	Laborec	14.12.	9:00	739	370	1	2.
Remetské Hámre	Okna	16.12.	4:45	182	8.30	2	1.
Michaľany	Roňava	16.12.	11:15	229	9.03	<1	2.
Lekárovce	Uh	16.12.	21:45	869	530	1 - 2	3.
Ižkovce	Laborec	17.12.	7:45	780	520	2	2.
Veľké Kapušany	Latorica	18.12.	16:45	784	340	5 - 10	3.
Streda nad Bodrogom	Bodrog	19.12.	7:15	868	650	2	3.

Obrázok 5.
Priebeh vodných hladín v profile Lekárovce - Uh,
Ižkovce - Laborec,
Veľké Kapušany - Latorica a Streda nad Bodrogom - Bodrog.

Legenda

- I. SPA
- II. SPA
- III. SPA



Už spomínaná kombinácia troch faktorov (kladné teploty vzduchu, výdatné tekuté zrážky a existencia snehovej pokrývky) na území východného Slovenska a západnej Ukrajiny spôsobila koncom prvej decembrovej dekády vzostupy vodných hladín na tokoch v povodí Bodrogu. V dôsledku tejto komplikovanej hydrometeorologickej situácie boli dosiahnuté a prekročené stupne povodňovej aktivity (PA). Najvýraznejší vzostup bol zaznamenaný v hydroprognóznych staniciach v dolnej časti povodia Bodrogu, na tokoch Laborec, Latorica, Uh a Bodrog, kde boli prekročené druhé a tretie stupne PA.

Vodná hladina vo vodomernej stanici Lekárovce na Uhu dosiahla tretí stupeň PA, s kulmináciou dňa 13. 12. vo večerných hodinách pri vodnom stave 830 cm, a vo vodomernej stanici Ižkovce na Laborci prekročila druhý stupeň PA, s kulmináciou 14. 12. v dopoludňajších hodinách pri vodnom stave 739 cm. V dôsledku ochladienia nastal na Uhu a Laborci pokles vodných hladín. V polovici decembra pretrvávajúca výdatná zrážková činnosť (maximálne úhrny boli zaznamenané 15. 12.) a kladné teploty vzduchu opäť prispeli k stúpajúcej tendencii vodných stavov na týchto tokoch. Vodná hladina v Lekárovciach na Uhu opakované prekročila tretí stupeň PA a kulminovala 6. 12. v nočných hodinách, pri vodnom stave 869 cm.

Taktiež vodná hladina vo vodomernej stanici Ižkovce na Laborci opakovane prekročila druhý stupeň PA, a druhýkrát v priebehu niekoľkých dní kulminovala 17. 12. o 7:45 h, pri vodnom stave 780 cm.

Vodné hladiny tokov Latorica a Bodrog začali stúpať 9. 12. a vzostup, ktorý bol spôsobený aj dotekaním z Ukrajiny, pretrvával až do konca druhej dekády decembra, kedy obidva toky prekročili hladinu zodpovedajúcu tretiemu stupňu PA (dňa 17. 12.) a kulminovali v priebehu 14 hodín. Vo vodomernej stanici Veľké Kapušany na toku Latorica vodná hladina kulminovala 18. 12. v popoludňajších hodinách pri vodnom stave 784 cm. Hodnoty kulminačného prietoku dosiahli pravdepodobnosť výskytu maximálne raz za 5 až 10 rokov. Následne, o 14 hodín neskôr, dňa 19. 12. v ranných hodinách, bol dosiahnutý kulminačný vodný stav 868 cm aj vo vodomernej stanici Streda nad Bodrogom na toku Bodrog. Kulminačný prietok zodpovedal prietoku s pravdepodobnosťou výskytu maximálne raz za 2 roky. Po kulmináciách hladiny obidvoch tokov do konca roka postupne klesali. Povodňová situácia pretrvávala až do polovice januára, kedy denné a nočné teploty vzduchu klesli pod nulu a na Latorici nastal prudší pokles vodných hladín. Pokles sa vzápäť prejavil aj na slovenskom úseku Latorice a na Bodrogu.

Za predošlých 40 rokov zimná povodeň 2017–2018 bola šiesta najvyššia z hľadiska dosiahnutej výšky. Zaujímavá bola však svojim trvaním a objemom. Druhý stupeň povodňovej aktivity trval na Latorici viac ako mesiac, na Bodrogu 22 dní, čo bolo určite veľká záťaž na hrádzke spomínaných tokov.

Tabuľka 2. Historické povodne za posledných 40 rokov s kulminačnými vodnými stavmi.

Velké Kapušany	H [cm]	Streda n/Bodrogom	H [cm]
1 júl 1980	842	1 január 1979	986
2 január 1979	841	2 júl 1980	960
3 december 2010	832	3 apríl 2006	939
4 apríl 2006	826	4 jún 2010	922
5 jún 2010	818	5 december 2010	917
6 december 2017	784	6 december 2017	868

Záver

Povodie Bodrogu pokrýva sústava riek, ktoré predstavujú vejár s približne rovnakou dĺžkou hlavných tokov. To zapríčinuje, že povodňové kulminačné prietoky, pri celoplošnom zasiahnutí zrážkami alebo topení snehu, sa spravidla stretávajú. Na problém veľkých vôd na východnom Slovensku sa sústredoval pozornosť už v dávnej minulosti. Pravidelné záplavy veľkého územia spôsobovali nemalé škody. Je preto pochopiteľné, že aj prvé hydrologickej štúdie boli zamerané na oblasť výskytu povodní. Medzi prvými takýmito bola komplexná štúdia, vypracovaná v roku 1935 Štátnym hydrologickým ústavom T.G. Masaryka v Prahe-Podlabe, pod názvom Hydrologická štúdia o režime veľkých vôd na Bodrogu a jeho prítokoch. Vychádzala z protokolu zo dňa 27. 5. 1932, kde bolo Hydrologickému ústavu nariadené vypracovať štúdiu týkajúcu sa úpravy riek Laborec a Čierna voda. V uvedenej štúdii boli spracované najväčšie povodne, ktoré sa na Bodrogu vyskytli a to: v máji 1902,

Obrázok 5.

- A – Streda nad Bodrogom - Bodrog, 18.12.2017,
 B – Veľké Kapušany - Latorica, 18.12.2017,
 C – Meranie prietoku prístrojom ADCP - Veľké Kapušany.



v apríli 1907, v auguste 1913, v októbri 1926, v marci a októbri 1931 a v apríli 1932.

Prvé vodomerné stanice v povodí Bodrogu vznikli už koncom 19. storočia. Účelová vodomerná sieť vznikala prevažne až po roku 1970. V čase vypracovania štúdie boli v prevádzke vodomerné stanice na Latorici v Mukačeve a Čope (patrili do ČSR v rámci Zakarpatskej Ukrajiny), na Uhu v Užhorode a Perečíne, na Laborci v Humennom a Michalovciach, na Ondave v Horovciach a na Bodrogu v Strede nad Bodrogom. [1]

Povodeň v zime 2017–2018 potvrdila zraniteľnosť územia na nepriaznivé poveternostné podmienky, v kombinácii s dažďom a topením snehu.

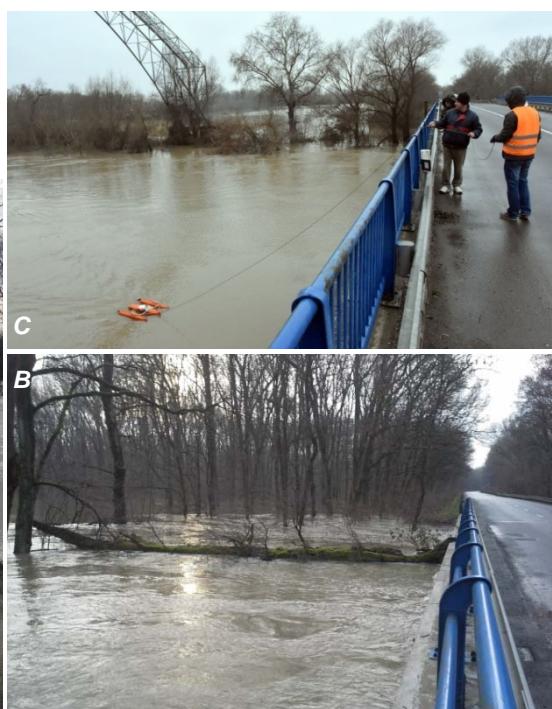
Súčinnosť hydrologickej, synoptickej a meteorologickej služby na SHMÚ, ako aj spolupráca s medzinárodnými hydroprognóznymi službami prispela k úspešnému zvládnutiu spomínamej povodňovej situácie, čo je dôkazom toho, že spojenie hydrometeorologickej služby napomáha operatívnej službe. Všetci, ktorí sme boli pritom, sme sa obohatili skúsenosťou a poznáním ďalšej zrážkovo-odtokovej situácie, ktorá sa tento krát vyskytla v zimnom období.

Našu pohotovosť, schopnosť predpokladať vývoj hydrologickej situácie, včasné a promptné vydávanie výstrah, ocenili aj príslušné povodňové orgány.

Danica Lešková, Dorota Simonová, SHMÚ

Literatúra

- [1] Šútora, J.–Mati, R.–Ivančo, J.–Gomboš, M.–Kupčo, M., Šťastný, P., 1995: *Hydrologia Východoslovenskej nížiny*. Vydavateľ: Media Group, v.o.s., Michalovce 1995. 467 s., ISBN 80 – 88835 – 00 – 3.
- [2] Agrometeorologické a fenologické informácie http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/publikacie/december_2017.pdf
- [3] Povodňová správa: „Povodňová situácia na tokoch východného Slovenska v zime 2017–2018“, <http://www.shmu.sk/sk/?page=128>



KLIMATOLOGICKÉ A FENOLOGICKÉ ZHODNOTENIE JARI 2018

Teplota vzduchu

Jar 2018 bola na území Slovenska teplotne mimoriadne nadnormálna, s priemernou územnou odchýlkou $+2,7^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s normálom 1961–1990 (dT v intervale od $+1,9^{\circ}\text{C}$ v Somotore do $+3,6^{\circ}\text{C}$ v Žihárci). V porovnaní s teplejším normálom 1981–2010 hodnotíme jar ako teplotne silne nadnormálnu, s priemernou územnou odchýlkou $+2,1^{\circ}\text{C}$ (dT v intervale od $+1,2^{\circ}\text{C}$ v Ružomberku do $+2,9^{\circ}\text{C}$ v Žihárci). V novodobej histórii meteorologických meraní sme zaznamenali túto jar dva rekordne teplé mesiace za sebou apríl i máj. Oba tieto dva mesiace boli teplejšie ako doterajšie rekordy. Jar 2018 bola teplejšia v Hurbanove $2,8^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s normálom 1961–1990 a o $2,1^{\circ}\text{C}$ teplejšia ako normál 1981–2010. Najviac letných dní ($\text{tmax} \geq 25^{\circ}\text{C}$) sme zaznamenali na meteorologickej stanici Podhájska (37), najviac tropických dní ($\text{tmax} \geq 30^{\circ}\text{C}$) sme zaznamenali na meteorologickej stanici Somotor (7).

Marec 2018 bol na väčšine územia Slovenska teplotne podnormálny (Obr. 1) s teplotnými odchýlkami od $-2,0^{\circ}\text{C}$ (Plaveč nad Popradom) do $+0,7^{\circ}\text{C}$ (Lomnický štít). V Hurbanove priemerná mesačná teplota vzduchu dosiahla $+4,0^{\circ}\text{C}$. Je to o $-1,3^{\circ}\text{C}$ menej ako je normál 1961–1990 a o $-1,6^{\circ}\text{C}$ menej ako normál 1981–2010. Absolútne teplotné minimum namerali v Červenom Kláštore ($-25,6^{\circ}\text{C}$, 1. marca), najvyššie maximum v Hurbanove ($19,5^{\circ}\text{C}$, 12. marca). Pozorovali sme aj niekoľko zaujímavých nízkych denných maxim teploty vzduchu (2. marca - Hurbanovo $-4,0^{\circ}\text{C}$, Bratislava Koliba $-5,0^{\circ}\text{C}$, Kuchyňa $-4,6^{\circ}\text{C}$, Bratislava letisko $-3,8^{\circ}\text{C}$, Oravská Lesná $-7,5^{\circ}\text{C}$, Poprad $-7,9^{\circ}\text{C}$, Košice $-4,1^{\circ}\text{C}$) a nízkych denných priemerných teplôt (Košice 1. marca $-9,6^{\circ}\text{C}$, Poprad 1. marca $-16,3^{\circ}\text{C}$, Hurbanovo 20. marca $-0,9^{\circ}\text{C}$, Bratislava Koliba 19. marca $-3,4^{\circ}\text{C}$). Toto chladné počasie spôsobila cirkulácia vzduchu v atmosfére, kedy naše územie dvakrát zasiahla výrazná vlna studeného vzduchu a tak tohtoročný marec patril k najchladnejším od roku 1951.

Apríl 2018 bol na väčšine územia Slovenska teplotne mimoriadne nadnormálny (Obr. 1), bol najteplejším aprílom od začiatku meteorologických pozorovaní na území Slovenska s odchýlkami teploty vzduchu od $+4,6^{\circ}\text{C}$ (Milhostov) do $+6,2^{\circ}\text{C}$ (Oravská Lesná). Apríl 2018 bol v Hurbanove najteplejším aprílom od začiatku meteorologických pozorovaní (od r. 1871), kedy priemerná mesačná teplota vzduchu dosiahla $16,2^{\circ}\text{C}$, čo je o $5,5^{\circ}\text{C}$ viac ako je normál 1961–1990 a o $4,9^{\circ}\text{C}$ viac ako normál 1981–2010. Abs-

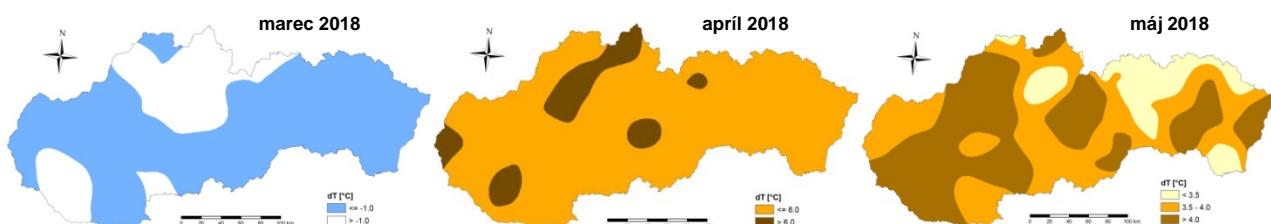
lútne najnižšia priemerná mesačná teplota vzduchu (bez verykých horských polôh) bola zaznamenaná v Oravskej Lesnej ($10,3^{\circ}\text{C}$), najvyššia v Hurbanove ($16,2^{\circ}\text{C}$). Absolútne teplotné minimum namerali na Lomnickom štítu ($-14,1^{\circ}\text{C}$, 2. apríla), najvyššie absolútne maximum v Holíči ($30,1^{\circ}\text{C}$, 29. apríla). Apríl bol mimoriadny aj z hľadiska počtu letných dní (maximálna teplota vzduchu $\geq 25^{\circ}\text{C}$). V Bratislave na letisku sme zaznamenali 10 letných dní, čo je najviac od roku 1951, a v Hurbanove to bolo až 11 letných dní od roku 1951, rovnako ako v roku 2000. V apríli sme zaznamenali aj prvý tropický deň (maximálna teplota vzduchu $\geq 30^{\circ}\text{C}$) v Holíči ($30,1^{\circ}\text{C}$, 29. apríla), čo pre tento jarný mesiac predstavuje jediný zaznamenaný tropický deň v histórii meraní od roku 1951.

Máj 2018 bol na väčšine územia Slovenska, rovnako ako aj apríl, teplotne mimoriadne nadnormálny (Obr. 1) s teplotnými odchýlkami od $+2,9^{\circ}\text{C}$ (Ružomberok) do $+5,0^{\circ}\text{C}$ (Žihárec). V Hurbanove priemerná mesačná teplota vzduchu dosiahla $19,7^{\circ}\text{C}$. Je to o $4,1^{\circ}\text{C}$ viac ako je normál 1961–1990 a o $3,1^{\circ}\text{C}$ viac ako normál 1981–2010. Absolútne teplotné minimum namerali na Lomnickom štítu ($-6,5^{\circ}\text{C}$, 20. mája), najvyššie maximum v Holíči ($32,1^{\circ}\text{C}$, 31. mája – je to historický rekord maximálnej dennej teploty vzduchu pre tento deň). Vďaka počtu letných dní a tropickým teplotám na konci mesiaca patrí máj k historicky najteplejším májom. V Bratislave na letisku sme zaznamenali až 18 letných dní čo je najviac od roku 1951, v Hurbanove to bolo až 22 dní (najviac od roku 1951), v Žihárci až 24 dní (najviac od 1961), v Košiciach na letisku 17 dní a v Milhostove 18 dní. Najteplejší mesiac máj dokumentujú aj rekordy priemernej mesačnej teploty vzduchu na viacerých staniciach na Slovensku (Bratislava letisko $19,2^{\circ}\text{C}$, Holíč $19,0^{\circ}\text{C}$, Hurbanovo $19,7^{\circ}\text{C}$, Košice $18,9^{\circ}\text{C}$, Oravská Lesná $13,7^{\circ}\text{C}$).

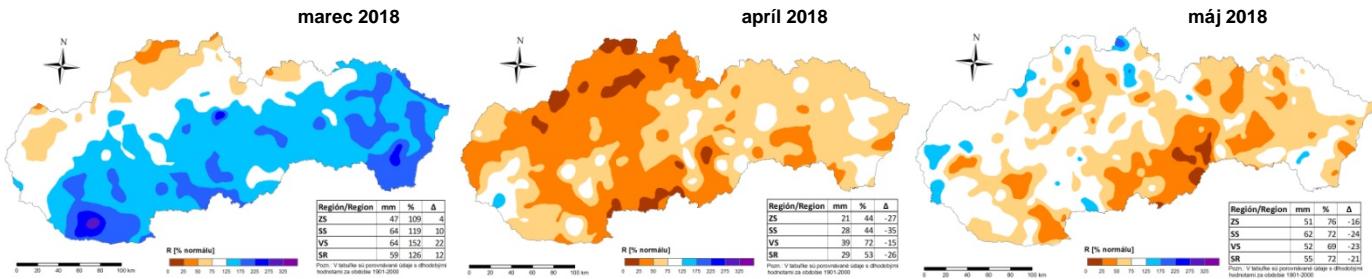
Atmosférické zrážky

Z pohľadu sezónneho úhrnu atmosférických zrážok bola jar 2018 na Slovensku zrážkovo normálna a na severozápade, Spiši a Gemeri podnormálna. Najvýraznejší nedostatok atmosférických zrážok sa prejavil najmä v regiónoch Kysúc, Oravy, stredného Považia, Myjav a severného Záhorie. Standardizovaný zrážkový index (SPI) na severozápade krajiny ukazoval veľmi, až extrémne suché podmienky až do polovice mája (Obr. 2). Na zvyšných monitorovaných staniciach boli zrážkové pomery počas jari normálne. Výnimkou bolo len východné Slovensko, ktoré nedostatok zrážok pocitovalo počas mesiaca máj.

Obrázok 1. Odchýlky priemernej mesačnej teploty vzduchu od normálu 1961–1990 v jednotlivých mesiacoch jari 2018.

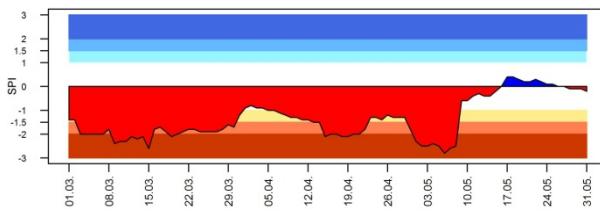


Obrázok 3. Úhrn atmosférických zrážok v % normálu 1961–1990 v jednotlivých mesiacoch jari 2018.



Nevyváženú priestorovú distribúciu zrážok podmieňala najmä búrková činnosť, ktorá viedla v niektorých regiónoch k vzniku náhlych povodní z intenzívnych zrážok. Najviac dní s búrkou sme zaznamenali na meteorologickej stanici Žiar nad Hronom (12).

Obrázok 2. Index SPI počas jari 2018 na stanici Čadca.



Marec 2018 bol na Slovensku zrážkovo väčšinou normálny až nadnormálny (Obr. 3), ale na západe, severozápade a severe Slovenska a aj na hornom Spiši bol aj zrážkovo podnormálny. Na celom Slovensku bol priesitorový úhrn zrážok v marci 2018 59 mm, na západnom Slovensku to bolo 47 mm, na strednom Slovensku to bolo 64 mm a na východnom Slovensku to bolo tiež 64 mm.

Mesačné úhrny zrážok sa pohybovali väčšinou od menej ako 20 mm, na niektorých miestach, na severe Záhorie a na strednom Považí, do viac ako 100 mm, na niektorých miestach vo Veľkej Fatre, v oblasti Vihorlatu, v Nízkych Tatrách, a v najvyšších polohách Tatier. Priestorový úhrn zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol 59 mm, čo predstavuje 126 % normálu a prebytok zrážok 12 mm.

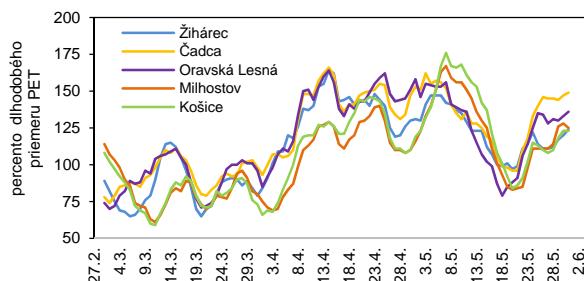
Apríl 2018 bol na Slovensku na väčšine územia zrážkovo podnormálny (Obr. 3). Na celom Slovensku priestorový úhrn zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol v apríli v roku 2018, 29 mm, čo predstavuje 53 % normálu a deficit zrážok 26 mm, na západnom Slovensku to bolo 21 mm, na strednom Slovensku to bolo 28 mm a na východnom Slovensku to bolo 39 mm. Mesačné úhrny zrážok sa pohybovali väčšinou v intervale od 5 do 60 mm. Ešte menej to bolo v Santovke a v Lúke a naopak, viac ako 60 mm zrážok zaznamenali za celý apríl na Lomnickom štítite, vo Vyšnej Boci a v Rudňanoch.

Máj 2018 bol na Slovensku zrážkovo normálny až podnormálny (Obr. 3). Na celom Slovensku bol priestorový úhrn zrážok v máji 2018 55 mm, čo predstavuje 72 % normálu a deficit zrážok 21 mm, na západnom Slovensku to bolo 51 mm, na strednom Slovensku to bolo 62 mm a na východnom Slovensku to bolo 52 mm. Aj keď niekde v máji pršalo pravidelnejšie, ako napr. na letisku v Kuchyni, kde za mesiac napršalo 123 milimetrov zrážok, stále je

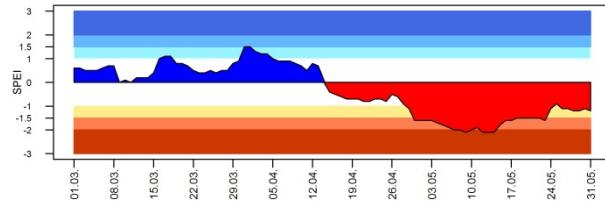
veľa lokalít, kde pršalo málo. Napr., na letisku v Nitre bol zaznamenaný v máji mesačný úhrn zrážok len 26 mm, v Hurbanove spadlo 34 mm, v Rimavskej Sobote 31 mm, v Piešťanoch 38 mm zrážok. Málo pršalo nielen v nížinách. Napríklad v Telgárte spadlo za mesiac len 33 mm zrážok. V Kuchyni na letisku spadlo 24.5. 2018 61,7 mm, čo je na tejto meteorologickej stanici druhý najvyšší denný úhrn májových zrážok v histórii meteorologických meraní od roku 1951. Doteraz rekordná denná májová hodnota na tejto stanici sa viaže k roku 1951. Vtedy tam 10. mája za deň napršalo 62,8 mm. V Plaveckom Petre napršalo 45 mm, v Kamanovej 42 mm, v Siladičiach 40 mm, na Skalnatom Plese 41 mm, v Poprade 35,5 mm.

Na vlahovú bilanciu počas jari výrazne vplývala aj vysoká teplota vzduchu v mesiacoch apríl a máj, ktorá podmieňovala vysoké hodnoty potenciálnej evapotranspirácie (PET). Tá dosahovala vysoké hodnoty najmä počas posledných dvoch aprílových dekad a počas prvých dvoch májových dekad (Obr. 4). V apríli sa jej hodnoty na severozápade Slovenska pohybovali na úrovni 140–160 % dlhodobého priemeru (1981–2010), čo bolo približne o 20 % viac ako napríklad v južných oblastiach východného Slovenska. Práve juhovýchod Slovenska však dosahoval vysoké hodnoty PET na začiatku mája (160–176 % dlhodobého priemeru).

Obrázok 4. Percento dlhodobého priemeru týždennej sumy potenciálnej evapotranspirácie počas jari 2018 na vybraných staniciach na Slovensku.



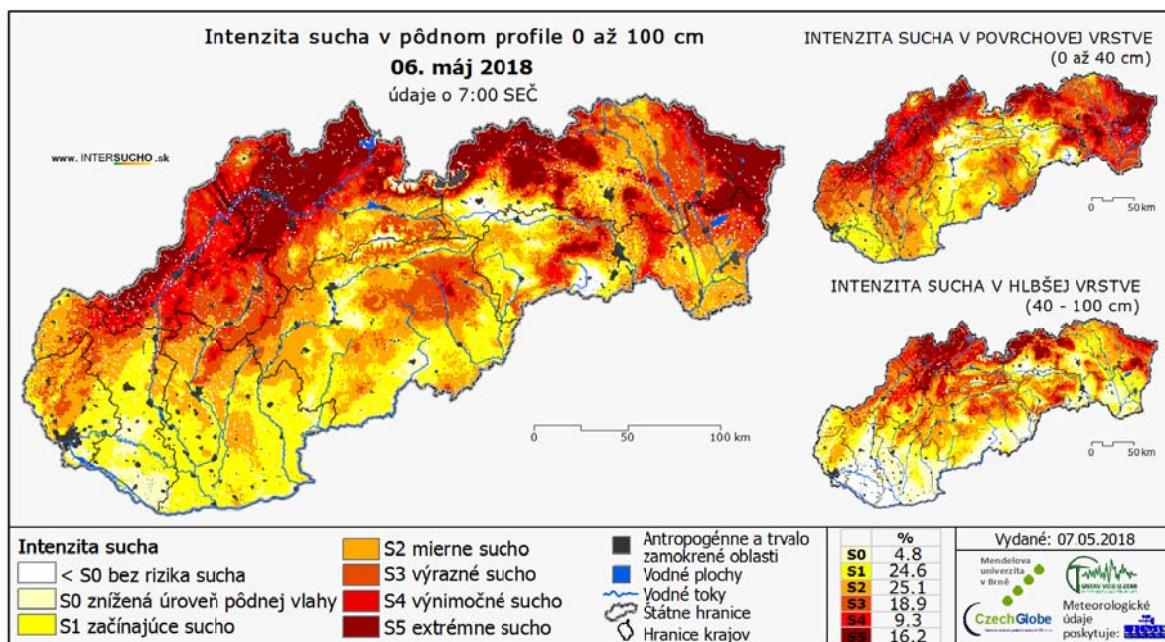
Obrázok 5. Index SPEI počas jari 2018 na stanici Žihárec.



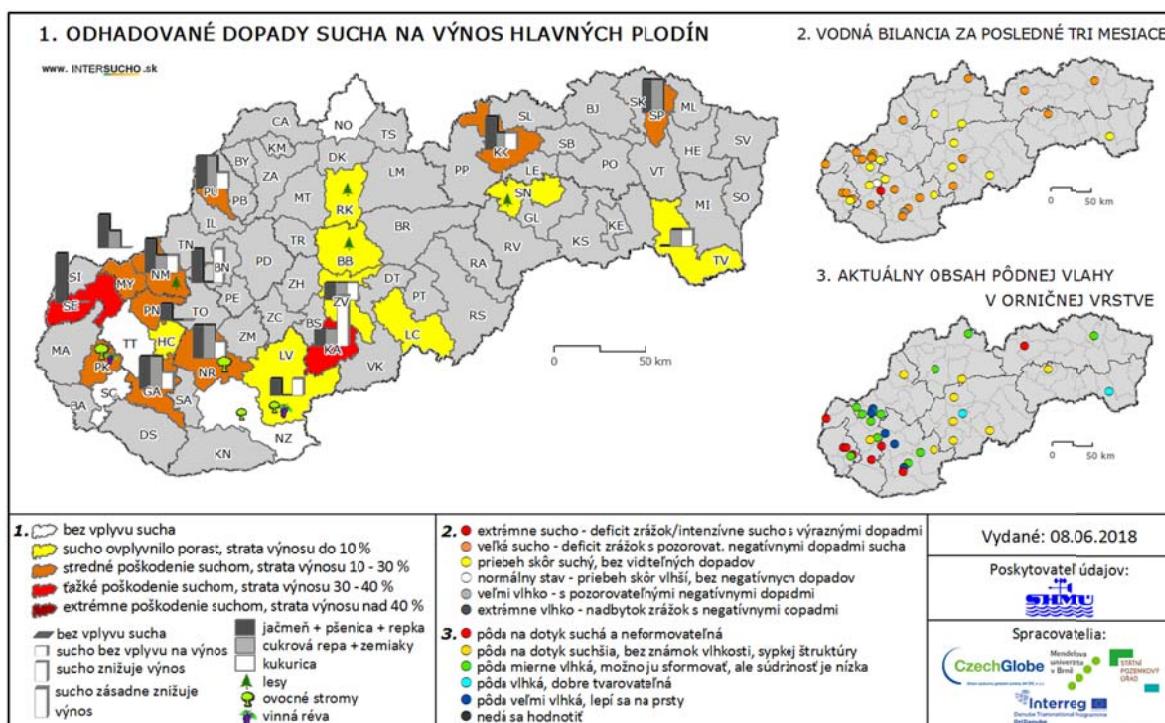
Vyššie uvedené podmienky sa prejavili na vlahovej bilancii nie len regiónov postihnutých zrážkovým deficitem, ale od druhej polovice apríla aj v oblasti Podunajskej nížiny (Obr. 5) a celého východného Slovenska. Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI) v priebehu prvej polovice mája dosahoval na väčšine staníc týchto regiónov hodnoty na úrovni veľmi až extrémne suchých podmienok. Dané podmienky sa

prejavili aj na intenzite pôdneho sucha, ktoré dosiahlo najväčšie plošné rozšírenie extrémneho pôdneho sucha v prvej polovici mája (Obr. 6), ako aj na relatívnom nasýtení pôdy (predovšetkým vo vrchnej časti pôdneho profilu). To viedlo aj k dopadom na poľnohospodárske plodiny a ovocné stromy, ktoré sme monitorovali na základe expertných posúdení z národnej reportovacej siete dopadov sucha (Obr. 7).

Obrázok 6. Intenzita pôdneho sucha na Slovensku k 6. 5. 2018.



Obrázok 7. Odhadované dopady sucha na výnos hlavných plodín na Slovensku k 3.6. 2018.



Fenologické predjarie, stav a vývin poľných plodín v jarnom období 2018

Fenologické pozorovania sú cenným zdrojom informácií pri monitorovaní a objasňovaní priebehu životných prejavov rastlín a živočíchov. Slúžia na zachytenie časového priebehu fenologických fáz v danej oblasti. Význam fenológie vzrástol pri sledovaní pôsobenia klimatických zmien na priestorové rozšírenie rastlín a živočíchov, a rovnako pri časových zmenách nástupu fenologických fáz v priebehu jednotlivých ročných období.

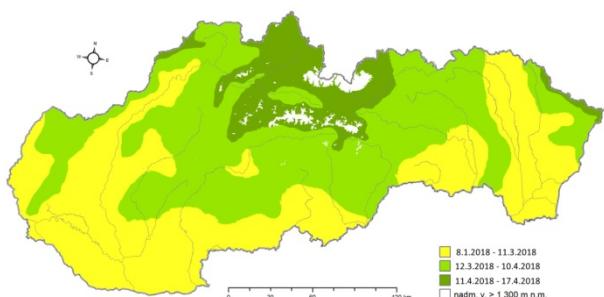
Vplyvom nadpriemerných teplôt v mesiaci január 2018 boli už počas druhej dekády mesiaca v teplejších oblastiach Slovenska ojedinele zaznamenané fenologické fázy začiatok kvitnutia a všeobecné kvitnutie liesky obyčajnej. V tretej dekáde mesiaca bolo pozorované predĺžovanie jahniad vrby rakytovej (bahniatka) a začiatok kvitnutia snežienky jarnej a koncom januára lokálne aj začiatok kvitnutia vrby rakytovej.

V priebehu februára pokračovalo kvitnutie liesky obyčajnej, predĺžovanie jahniad, miestami aj kvitnutie vrby rakytovej a kvitnutie snežienky jarnej. Ďalší nástup a priebeh fenologických fáz rastlín bol vplyvom výrazného ochladenia počas poslednej februárovej pentády pozastavený. V marci pokračovalo ešte kvitnutie liesky obyčajnej prevažne v podhorských lokalitách, kvitnutie vrby rakytovej, od konca prvej dekády začala kvitnúť jelša lepkavá a od polovice marca drieň obyčajný. Na obrázku 8 je znázornené priestorové rozloženie začiatku kvitnutia liesky obyčajnej (*Corylus avellana L.*) v roku 2018.

Po zimnom období sa ozimné obilníny nachádzali na väčšine sledovaného územia vo veľmi dobrej zdravotnej kondícii. Od konca prvej marcovej dekády pokračovalo odnožovanie porastov ozimných obilnín, ktoré neodnožili na jeseň. Na konci mesiaca bol na Podunajskej nížine pozorovaný začiatok predĺžovania listových pošiev jačmeňa ozimného a v tomto období repka ozimná začala vstupovať do fenofázy začiatok predĺžovania byle. Sejba jačmeňa jarného začala od druhej dekády, koncom marca začal miestami vzchádzať. Hrach siaty sa začal siať v tretej dekáde, repa cukrová a kŕmna v poslednej marcovej pentáde.

Začiatkom apríla sa pšenica ozimná nachádzala vo fenologickej fáze začiatok predĺžovania listových pošiev, prevažne v druhej dekáde začala steblovať, vytvárať prvé kolienko a od konca druhej dekády aj druhé kolienko. Repka ozimná predĺžovala byľ, od druhej dekády apríla začala kvitnúť a od polovice mesiaca aj plne kvitla. Jačmeň jarný od začiatku apríla vzchádzal, skôr zasiata vytváral tretí list

Obrázok 8. Začiatok kvitnutia liesky obyčajnej (*Corylus avellana L.*) v roku 2018.



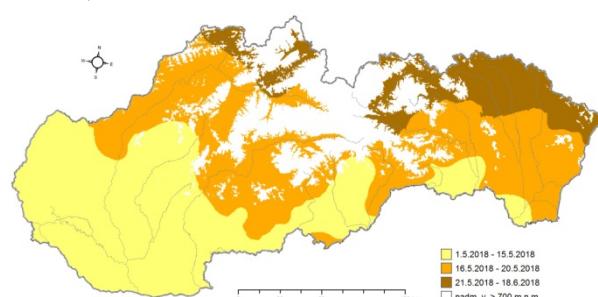
a od konca druhej dekády začal odnožovať, potom začal predĺžovať listové pošvy a poslednú pentádu lokálne začal aj steblovať, vytvárať prvé kolienko. V priebehu prvých dvoch dekád pokračovala ešte sejba repy cukrovej a kŕmnej, skôr zasiata v tomto období vzchádzala a koncom apríla miestami vytvárala aj prvé páry pravých listov. Prevažne v prvej polovici apríla sa sadili skoré odrody zemiakov, v poslednej dekáde vzchádzali. Od konca prvej pentády sa siala slnečnica ročná, od polovice mesiaca vzchádzala. Od konca prvej aprílovej dekády sa siala kukurica na zrno a na siláž, od konca druhej dekády začala vzchádzať. V marci a začiatkom apríla zasiatý hrach siaty vzchádzal v prvej polovici apríla, koncom mesiaca začal miestami aj kvitnúť. Na chmeli obyčajnom v Trenčíne koncom prvej dekády pučali púčiky, na konci mesiaca sa vytvárali prvé listy.

Na začiatku mája bola pšenica ozimná vo fenologickej fáze druhej kolienko, po nej dochádzalo k zdurovaniu pošvy posledného listu, prevažne od konca prvej dekády začala klasiť a v druhej polovici mesiaca kvitla. Na obrázku 9 je znázornené priestorové rozloženie začiatku klasenia pšenice ozimnej (*Triticum aestivum L.*) v roku 2018. Repka ozimná na väčšine lokalít v prvej polovici mája kvitnúť už ukončila. Od začiatku mája jačmeň jarný pokračoval ešte v odnožovaní, predĺžoval listové pošvy, stebloval, vytváral prvé kolienko, vyspelejšie porasty od konca prvej dekády aj druhé kolienko, prevažne v druhej polovici mája klasil a koncom mesiaca začal aj kvitnúť. Repa cukrová a kŕmna vytvárala prvé páry pravých listov, zapájala sa v riadkoch, dekortizovala. Zemiaky vzchádzali, zapájali sa v riadkoch, skôr zasadene v poslednej dekáde začali kvitnúť. Ojedinele na severe Slovenska sa začiatkom mája sadili ešte neskoré odrody zemiakov, ich vzchádzanie sme zaznamenali v druhej polovici mája. Kukurica siata pokračovala vo vzchádzaní, prevažne od druhej dekády vytvárala tretie listy. Neskôr zasiata slnečnica ročná vzchádzala v prvej dekáde, skôr zasiata v teplejších oblastiach lokálne začala aj butonizovať koncom mája. Hrach siaty pokračoval v kvitnutí, skoré odrody boli na konci mesiaca v zelenej zrelosti a zberali sa. V priebehu mája prebiehala prvá kosba lucerny siatej. Na chmeli obyčajnom v Trenčíne poslednú dekádu začali rástť zálistky.

V porovnaní s dlhodobým priemerom väčšina fenologických fáz nastupovala v roku 2018 o jeden až dva týždne skôr, na niektorých lokalitách aj o tri týždne skôr

P. Kajaba, P. Faško, L. Labudová,
Z. Snopková, V. Jakubíková, A. Vinceová
Slovenský hydrometeorologický ústav

Obrázok 9. Začiatku klasenia pšenice ozimnej (*Triticum aestivum L.*) v roku 2018.



JUBILEUM AEROLOGICKÉHO A RADIAČNÉHO CENTRA SHMÚ V POPRADE-GÁNOVCIACH

V decembri 2017 Aerologické a radiačné centrum SHMÚ, známejšie ako popradská „sondárka“, oslávilo 40 rokov svojej činnosti v Gánovciach. História pracoviska je však oveľa dlhšia. Siahá do obdobia po druhej svetovej vojne. Na popradskom letisku sa vtedy začalo s nepravidelným sledovaním meteorologických podmienok vo vyššej atmosfére pomocou rádiosondy nesenej meteorologickým balónom.

Merania spočiatku zabezpečovala vojenská meteorologická služba a pravidelnými sa stali v novembri 1951, čím sa stanica Poprad stala druhou aerologickou stanicou meteorologickej služby vtedajšieho Československa (prvou bola stanica v Prahe, zabezpečujúca letisko v Ruzyni). V roku 1954 boli po oddelení vojenskej a civilnej meteorologickej služby obidve stanice začlenené do siete Hydrometeorologického ústavu. Organizácia pracoviska aj technické vybavenie sa s časom menili (Obr. 1). Po dvadsiatich rokoch pravidelných aerologických meraní sa ukázalo, že umiestnenie aerologickej stanice v tesnej blízkosti letiska nie je z viacerých príčin vyhovujúce. Nové miesto pre aerologickú stanicu sa našlo v dedine Gánovce vzdialenej asi 3 km od východného okraja mesta Poprad. Aerologické stredisko, s neprehliadnuteľnými guľovými červeno-bielymi krytmi radarov, sa čoskoro stalo dominantou a symbolom obce (Obr. 2).

Nemenilo sa však iba technické vybavenie stanice, ale aj organizácia meraní. Až do roku 2007 sa vykonávali aerologické merania nielen v hlavných pozorovacích termínoch o 00 a 12 h UTC, ako v súčasnosti, ale merania charakteristík výškového vetra sa robili aj o 06 a 18 h UTC. Kým v minulosti sa údaje z vyšších vrstiev atmosféry využívali hlavne pre leteckú dopravu, v súčasnosti sú nenahraditeľným vstupom a validačným prostriedkom pre numerické predpovedné modely. Metodika meraní v Gánovciach sa využívala v spolupráci s pražskou sondážkou. V roku 1978 sa zorganizovala prvá, tento rok sa v Prahe bude konat už 40-ta, spoločná porada českých a slovenských meteorologických služieb a služieb ozbrojených síl AČR a OSSR. Hoci stanica je začlenená aj do európskej spolupráce v rámci pracovnej skupiny pre aerologické merania WG-RS EUMETNET, tesná spolupráca s pražskou stanicou na Libuši je nenahraditeľná. Jedným z najvýraznejších technologických medzníkov bol prechod na merací systém VAISALA v roku 1992. V máji 2018 sa na stanici začal používať najnovší typ rádiosond od tohto výrobcu.

Na stanici sa postupne vybudovala infraštruktúra aj pre pozemné meteorologické merania a merania koncentrácie niektorých znečistujúcich látok vo vzduchu. V roku 1993 tu bol inštalovaný Brewerov ozónový spektrofotometer a odvtedy pracovisko poskytuje údaje pre verejnosť o meraných hodnotách celkového ozónu a predpoveď slnečného UV-indexu. Stanica vstúpila do siete WMO GO3OS GAW. V roku 2007 bolo do Gánoviec presunuté Národné radiačné centrum SHMÚ, ktorého technické vybavenie sa výrazne zlepšilo po roku 2014. Od tohto roku sa na pracovisku začal aj monitoring aerosolu pomocou mikropulzného lidaru a slnečného fotometra. Väčšina meraní,

ktoré sa na pracovisku vykonávajú, vstupuje do medzinárodnej výmeny údajov prostredníctvom rôznych databáz a projektov (AERONET, EUBREWNET, COST, ACTRIS, WOUDC, WRDC). Ďalšie informácie z histórie ARC Gánovce možno nájsť v Meteorologickom časopise 4/2001.

Obrázok 1. Rádioteodolit Malachit na popradskom letisku.



Obrázok 2. Aerologické a radiačné centrum SHMÚ.



Pri príležitosti výročia pracoviska bol 11. – 13. 6. 2018 v Tatranskej Lomnici zorganizovaný medzinárodný workshop „Complex atmospheric monitoring and research“, zameraný na prezentáciu výsledkov a výmenu skúseností pracovísk s podobným pozorovacím programom ako ARC Gánovce v Strednej Európe. Workshop otvoril generálny riaditeľ SHMÚ Dr. Martin Benko, ktorý vyzdvihol príspevok dlhoročných vedúcich Dr. Jána Pribiša a Dr. Miroslava Chmelíka k rozvoju centra, a tiež zásluhy Ing. Jána Lukačka, ktorý organizoval výstavbu súčasného pracoviska a jeho technické zabezpečenie. Medailou SHMÚ boli ocenení dva dlhoroční pracovníci ARC Gánovce: Mgr. Oliver Mišaga, za príspevok k automatizácii, informatizácii pracoviska a tiež za dlhoročné zabezpečenie kvalitných meraní celkového ozónu, a Alojz Kubaský, za dlhoročné zabezpečenie kvalitných aerologických meraní (Obr. 3).

Obrázok 3. Ocenení
dlhoroční pracovníci
ARC SHMÚ Gánovce
Mgr. O. Mišaga (vľavo)
a A. Kubaský (vpravo).



*Obrázok 4.
Účastníci workshopu
„Complex atmospheric
monitoring and
research“ a pracovníci
ARC SHMÚ
v Tatranskej Lomnici.*



Ocenenie odovzdali pracovníkom generálneho riaditeľa SHMÚ, predsedníčka SMS Dr. Paulína Valová a vedenie pracoviska. Zástupca poľskej hydrometeorologickej služby IMGW prof. Zbigniew Ustrnul odovzdal pri príležitosti jubilea vedeniu SHMÚ pozdravné listy od generálneho riaditeľa IMGW a zástupcov Jégellonskej univerzity v Krakove. Pri príležitosti slávnostného otvorenia workshopu sa po dlhšom období opäť stretli aj bývalí pracovníci ARC Gánovce (Obr. 4).

Počas workshopu odznelo 13 prednášok a 5 prezentácií posterov. Tematicky boli zamerané na problematiku aerologických meraní, meraní charakteristík slnečného žiazenia, meraní a interpretácie vývoja ozónovej vrstvy Zeme, organizácie merania slnečného ultrafialového žiazenia, problematiky meraní v horskom prostredí a využitia modelovania rôznych procesov v atmosfére pre účely jej ďalšieho výskumu ale aj pre praktické účely.

Príspevky boli publikované v zborníku, ktorý je k dispozícii v knižnici SHMÚ. Workshop ukončila exkurzia účastníkov na Astronomickom observatóriu ASÚ SAV, na Skalnatom Plese. V ARC Gánovce však ešte do 16. júna prebiehali spoločné pyrheliometrické merania maďarskej, českej a slovenskej meteorologickej služby, ktoré pre nepriaznivé poveternostné podmienky nepriniesli praktické výsledky. Výsledkom stretnutí je však vyhodnotenie kladov a nedostatkov používaných kalibračných metodík a návrh na pokračovanie spolupráce, ktorej konečným výsledkom by mohla byť jednotná metodika používaná v Strednej Európe. Účastníci workshopu potvrdili, že výmena skúseností a informácií medzi úzko špecializovanými pracoviskami v rámci nášho regiónu je podnetnou a prínosnou.

Organizátori workshopu vyjadrujú podakovanie SHMÚ za podporu podujatia. ARC Gánovce treba zaželať do ďalších rokov úspešné a kvalitné merania známe mnohým užívateľom a verejnosti, ktoré prispejú k prehľbeniu poznania našej atmosféry.

*Anna Pribullová
SHMÚ, Poprad-Gánovce*

KONFERENCIA EURÓPSKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI

Každoročné Stretnutie Európskej meteorologickej spoločnosti (EMS) - Európska konferencia pre aplikovanú meteorológiu a klimatológiu - sa konalo 3.–7.9.2018 na Corvinus University v Budapešti v Maďarsku. Ústredná téma tohtoročnej konferencie bola Počasie a podnebie: globálna zmena - lokálne riziká. Príspevky boli prezentované v troch hlavných tematických okruhoch (Engagement with Society, Operational Systems and Applications, Understanding Weather & Climate Processes), ktoré boli ešte rozdelené spolu do 50 sekcií.

Podujatia EMS združujú približne 600 členov meteorologickej, klimatickej a príbuzných viednych odborov v Európe, aj mimo nej: od národných meteorologickej a hydrologických služieb, súkromných poskytovateľov služieb, akademických a vzdelávacích inštitúcií, médií a medzinárodných organizácií. Tieto podujatia slúžia ako každoročné fórum, ktoré podporuje vzájomnú výmenu skúseností. Tento rok sa konferencie zúčastnilo 732 účastníkov z 50 krajín a prihlásených bolo viac ako 800 abstraktov.

Odbor Klimatologická služba Slovenského hydrometeorologickej ústavu sa na tejto konferencii prezentovala piatimi príspevkami v 3 rôznych sekciách:

Sekcia Understanding and modelling of atmospheric hazards and severe weather phenomena

- Assessment of urban heat island changes in Bratislava between years 1998 and 2016 using MUKLIMO model – J. Holec, P. Šťastný, M. Garaj, J. Feranec, M. Kopecká, D. Szatmári.

Sekcia Climate change detection, assessment of trends, variability and extremes

- Trends in heavy precipitation in Slovakia over 1951–2017 – P. Faško, P. Kajaba, L. Markovič, J. Pecho.
- Analyses of spatial and temporal distribution of thunderstorms in Slovakia using lightning-detection data – J. Pecho, G. Ivaňáková, P. Kajaba, L. Méri, K. Mikulová, P. Šťastný, M. Turňa.

Sekcia Impacts: vulnerability and adaptation to climate change

- Drought monitoring in Slovakia – G. Ivaňáková, L. Labudová, M. Turňa, P. Štepánek.
- Monitoring of drought impacts and the DriDanube project – L. Labudová, G. Ivaňáková, M. Trnka, L. Bartošová.

Budúci rok sa táto konferencia bude konať 9. až 13. septembra 2019 v dánskej Kodani. Slovenská meteorologická spoločnosť a Slovenský hydrometeorologický ústav budú spoluorganizátormi Stretnutia Európskej meteorologickej spoločnosti - Európskej konferencie pre aplikovanú meteorológiu a klimatológiu v roku 2020, kedy sa táto konferencia bude konať v Bratislave.

Európske ocenenie pre slovenskú klimatologičku

Mladá klimatologička Slovenského hydrometeorologickej ústavu, Mgr. Lívia Labudová, PhD. získala európske ocenenie pre mladých vedeckých pracovníkov The Tromp foundation travel award to young scientists. Ocenená bola za svoju prácu Monitoring of drought impacts and the DriDanube project. Cenu The Tromp foundation travel award to young scientists udeľuje Európska meteorologickej spoločnosť na podporu mladých vedeckých pracovníkov do 35 rokov, ktorí pracujú alebo študujú v európskej krajinnej a prezentujú príspevky v oblasti biometeorológie na konferencii Európskej meteorologickej spoločnosti (EMS). Spolu s našou kolegyňou boli ocenení Claudia Di Napoli zo Spojeného kráľovstva Veľkej Británie a Severného Írska, s prácou Towards a pan-European forecasting system for heatwave-related health hazards, Coral Salvador zo Španielska, s prácou Health effects on daily mortality of a hydrological extreme: the case of the droughts in Galicia, Irena Nimac z Chorvátska, za prácu Urban climate of Zagreb, Mikhail Varentsov z Ruskej federácie (práca Effects of the climate change and city development on summering urban heat island and heat stress indices for Moscow megacity) a Dian Csenge z Maďarska, s prácou Urban heat island intensity analyse based on surface and air temperature measurements in Budapest.

Katarína Mikulová
SHMÚ, Bratislava

MEDZINÁRODNÝ DEŇ DUNAJA

Medzinárodný deň Dunaja, 29. júna, si pripomíname od roku 2004. Cieľom je oslava čistej a bezpečnej rieky a jej ochrany ako významného prírodného zdroja v Európe. Sviatok podporuje Medzinárodná komisia na ochranu rieky Dunaj (ICPDR) aj Európska únia.

Do osláv sa každoročne zapája aj Slovenský hydrometeorologický ústav. Nie inak tomu bolo aj tento rok. Pri príležitosti Dňa Dunaja pracovníci SHMÚ na konci júna zorganizovali odborný seminár, na ktorom dominovali najmä témy znečistenia vód v povodí.

Podľa slov Róberta Chriašteľa, vedúceho odboru Hydrologické monitorovanie, predpovede a výstrahy v Ban-

skej Bystrici, trendy v podzemných vodách naznačujú, že na viacerých miestach u nás stúpajú koncentrácie amoniaku. Na druhej strane, s výnimkou juhozápadnej časti, prevládajú vzostupné koncentrácie dusičnanov na celom území Slovenska. „V ostatných ukazovateľoch prevládajú poklesové trendy nad stúpajúcimi. Na seminári sme prezentovali výsledky za roky 2007 až 2014. V súčasnosti spracúvame aktualizované hodnotenie trendov. Výsledky budú známe na konci tohto roka,“ dodal R. Chriaštel.

Dunaj preteká štyrmi hlavnými mestami (Viedeň, Bratislava, Budapešť, Belehrad). Jeho povodie zaberá približne 10 % povrchu Európy a zasahuje územie osemnástich štátov. Cez územie desiatich riek Dunaj priamo preteká, alebo tvorí v nich štátu hranicu. Na Slovensku, vďaka 172 km, patrí do povodia Dunaja až 96 % plochy povodia a tvoria ju jeho slovenské prítoky: Morava, Váh s Nitrou, Hron, Ipel a zberna oblasť Tisy, so slovenskou časťou povodí Slanej, Bodvy, Hornádu a Bodrogu. Dunaj je po Volge druhou najväčšou riekou Európy, a to nielen na základe dĺžky toku, ale aj podľa plochy povodia.

Program seminára:

- Vyhodnotenie znečisťujúcich látok v povrchovej vode v povodí Dunaja – Mrafková L., Bartík I., Vlk J., Takáčová D., SHMÚ.
- Vyhodnotenie znečisťujúcich látok v podzemnej vode v povodí Dunaja – Dadová M., Luptáková A., Urbancová J., SHMÚ.
- Vyhodnotenie trendov v podzemných vodách – Chriaštel R., SHMÚ.
- Emisie znečisťujúcich látok vo vypúšťaných odpadových vodách v povodí Dunaja – Dömenyová J., Ďurkovičová D., Mrafková L., SHMÚ.
- ČOV - zdroj znečistenia povrchových vod farmaceutikami – Mackuľák T. a kol., Oddelenie environmentálneho inžinierstva FCHPT STU Bratislava .

Ivan Garčár
SHMÚ, Bratislava

NÁRODNÁ SIEŤ SPRAVODAJSTVA O DÓSLEDKOCH SUCHA V RÁMCI PROJEKTU DRIDANUBE

Projekt Riziko sucha v dunajskom regióne (DriDanube, <http://www.interreg-danube.eu/dridanube>), ktorý je medzinárodným projektom Dunajského nadnárodného programu, vstúpil už do posledného roka riešenia. Jeho plánované ukončenie bude v júni 2019. Projekt sme podrobne predstavili na stránkach Meteorologického časopisu, v 2. čísle roku 2017. Slovenský hydrometeorologický ústav je aktívnym partnerom projektu vo všetkých jeho pracovných balíkoch. Zdokonaluje a rozvíja monitoring meteorologickej, pôdneho a hydrologického sucha, založenom na použití modelovacích nástrojov, ktoré využívajú namerané meteorologické a hydrologické prvky. Od júla 2017 aktívne rozvíja aj ďalší prístup, ktorým je monitoring dôsledkov sucha, zohľadňujúci realitu priamo v teréne. Ak je tento monitoring vykonávaný pravidelne a systematicky a záro-

veň dobre reprezentuje dôležité poľnohospodárske, ovocinárske a lesnícke oblasti na Slovensku, jeho údaje môžu byť použité ako dôležité podklady pre rozhodovacie procesy v manažmente sucha. Zároveň môžu slúžiť na kalibráciu spomínaných modelov sucha. Informácie o dôsledkoch sucha sú aktualizované každý týždeň, na stránke www.intersucho.sk. Sú tu tiež uverejňované historické prehľady, aktuálny priebeh sucha ako aj výhľad na nasledujúcich 9 dní dopredu.

Založenie národnej siete spravodajstva o dôsledkoch sucha (ďalej reportovacia sieť) bolo dôležitým medzníkom, smerujúcim k vyššej úrovni, reprezentatívnosti a efektívnosti poznatkov o odozvách intenzity a trvania sucha priamo v pestovateľských podmienkach. Členmi siete sú odborníci priamo z poľnohospodárskej, ovocinárskej, vinohradníckej a lesníckej praxe. Na začiatku sa monitoringu dôsledkov sucha zúčastnilo sedem aktívnych členov. V súčasnosti sa ich počet zvýšil na 94. Tomuto úspechu predchádzala aktívna činnosť vyhľadávania reportérov, ich zaškoľovanie a vykonávania spätnej väzby na ich činnosť. Medzi ne patrili rôzne propagačné akcie, školenia a semináre. Medzi úspechy reportingu patrí aj aktívna spolupráca SHMÚ s ÚKSÚP-om. O dôsledkoch sucha sa reportuje priamo z jeho skúšobných staníc. Tieto pracoviská sú vybavené primerane personálne aj technicky a sú lokalizované vo všetkých pestovateľských oblastiach pričom dodržiavajú standardné pestovateľské podmienky.

Zvlášť aktívna, smerom k zdokonaľovaniu a rozšíreniu reportovacej siete o dôsledkoch sucha, bola činnosť slovenského projektového tímu DriDanube v roku 2018. Táto napomáhala k naplneniu cieľov projektu, no najmä k lepšiemu zvládnutiu manažmentu poľnohospodárskeho sucha na Slovensku. Prvým dôležitým podujatím bol seminár pod názvom „Monitoring sucha a jeho dôsledkov“, uskutočnený dňa 22. 2. 2018 vo Zvolene. Usporiadal ho Slovenský hydrometeorologický ústav spolu so Slovenskou poľnohospodárskou a potravinárskou komorou (SPPK). Jeho poslaním bolo osloviť komunitu poľnohospodárov, ovocinárov a lesníkov s cieľom získať nových reportérov o dôsledkoch sucha na Slovensku. Ďalšou dôležitou akciou bol seminár „Hodnotenie sucha a jeho dôsledkov na Slovensku“, ktorý sa konal 23. 10. 2018 v Piešťanoch. Opäťovne ho zorganizovali SHMÚ a SPPK. Mal za úlohu osloviť nových reportérov o dôsledkoch sucha na Slovensku. Tretím podujatím bolo diskusné odborné stretnutie Monitoring a hodnotenie sucha na Slovensku, konané dňa 15. 11. 2018 na SHMÚ v Bratislave. Zúčastnili sa ho reportéri z celého Slovenska, ktorí sú aktívne zapojení do reportovacej siete. Podujatie priblížilo novinky v rámci monitoringu sucha a umožnilo vykonať spätnú väzbu na hlásenie o dôsledkoch sucha. Reportérom boli tiež poskytnuté informácie o predpovediach počasia a boli im predstavené prvé porovnania hlásení od odborníkov z praxe s nástrojmi monitoringu sucha. Ako podčakanie za dlhodobú pravidelnú spoluprácu, boli odmenení traja najaktívnejší členovia reportovacej siete. V budúcnosti plánujeme uskutočňovať pravidelné stretnutia aktívnych reportérov o dôsledkoch sucha každý rok.

Pavel Šťastný, Lívia Labudová
SHMÚ, Bratislava

DISKUSNÉ FÓRUM ZAINTERESOVANÝCH ÚČASTNÍKOV MEDZINÁRODNEJ VEDECKEJ KONFERENCIE ICOS

Medzinárodná konferencia organizovaná Európskou výskumnou platformou ICOS, čo v preklade znamená „Integrovaný pozorovací systém pre uhlík = Integrated Carbon Observation System“, sa konala po tretíkrát, a prvýkrát tam malo zastúpenie aj Slovensko. Konferencie som sa zúčastnila na pozvanie (aj úhradu) organizátora z dôvodu aktívnej účasti v diskusnom paneli zameranom na priame prepojenie vedy a rozhodovacích procesov na úrovni politik a opatrení s názvom „od údajov k politike“.

Okrem toho sa vedecká platforma ICOS zaoberá produkovaním vysoko citlivých údajov o koncentráciách skleníkových plynov v atmosfére, ako aj uhlíkovými výmenami medzi atmosférou, zemou a oceánmi. Produkuje otvorené údaje zo 134 meracích staníc v 12 Európskych krajinách.

ICOS údaje sú starostlivo štandardizované cez meračie protokoly, kalibráciu a presné merania, až po porovnaní so stovkami biochemických parametrov. Údaje sa môžu ďalej spracovať napríklad do foodprintových máp, tokov (flux) uhlíka antropogénnej časti emisií skleníkových plynov v atmosfére (nielen uhlík, ale aj dusík a ozón). Veľmi zaujímalou súčasťou konferencie bola výstava fotografií, kde sa postupne odprezentovalo všetkých 12 EÚ krajín, ktoré sú partneri ICOS-u, a to prostredníctvom fotografií a popisu ich ICOS meracích staníc. Zastúpenie rôznorodých podmienok pri výbere staníc je klíčové. ICOS má stanice rozdelené podľa miesta ich prevádzky napríklad najvyššie položená stanica ICOS v Európe je na vrchole Jungfraujochu vo Švajčiarsku, vo výške 3,5 tisíc metrov. Stanica slúži ako pozadová, a je referenčnou pri porovnávacích výpočtoch (napríklad pre meranie F-plynov). Ďalej sú stanice umiestnené napríklad v Laponsku za polárnym kruhom, na Špicbergoch, v lužných lesoch (ČR), mokradiach (Škótsko), v poľnohospodársky intenzívne obrábanej krajine (Nemecko), v Severnom mori (Belgicko), v blízkosti veľkomiest (Parížska stanica), alebo v dubových lesoch pri mestských aglomeráciách (Rím), či v borovicovom lese, ktorý rastie na degradovanej piesočnej pôde (Holandsko). Bolo by zaujímavé zapojiť sa do podobného projektu a umiestniť jednu stanicu na Slovensku.

Janka Szemesová
SHMÚ, Bratislava

VÝROČNÝ SEMINÁR ČESKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI

Výročný seminár Českej meteorologickej spoločnosti (ČMeS) sa konal 18. – 19. 9. 2018 pri príležitosti 60. výročia založenia Československej meteorologickej spoločnosti, ktorej ČMeS je nástupníckou organizáciou v Českej republike (po rozdelení ČSSR r. 1993). Spoluorganizátorom okrem ČMeS bol aj Český hydrometeorologický ústav, Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR (ÚFA AV ČR), Univerzita Karlova a Česká zemědělská univerzita Praha (ČZU). Seminár bol venovaný histórii, ale aj súčasnosti

a budúcnosti meteorológie. Ďalším dôležitým motívom bola spolupráca a prezentácia súkromného sektora v oblasti meteorológie, ktorú predstavovali spoločnosti ako METEOPRESS, ČT, WINDY či InMeteo. Práve spolupráca odborných vedeckých inštitúcií so súkromným sektorem je aj v aktuálnom programe takých organizácií ako je WMO či EUMETSAT alebo EUMETNET.

Prvý deň seminára na úvod pozdravili Doc. RNDr. T. Havelka, predseda ČMeS, zástupca Matematicko-fyzikálnej fakulty Univerzity Karlovy Praha, riaditeľ úseku Meteorológie a klimatologie ČHMÚ Mgr. Černikovský, doc. Pokorný za Českú zemědělskou univerzitu a RNDr. P. Sedlák za Ústav fyziky atmosféry AV ČR.

V jednotlivých prednáškach sa predstavili zástupcovia ČHMÚ, SHMÚ a SMS (Paulína Valová) i ČZÚ (Vera Potopová), zástupcovia súkromných firiem (Meteopress, InMeteo), ako aj zástupca Armády českej republiky Robert Piwko – väčšinou sa prednášky týkali história a súčasnosti meteorológie a jej odvetví (agrometeorológia, bioklimatológia) v ČR a SR. Záver dňa patril zástupcom kolektívu odborných pracovníkov ÚFA AV ČR (Müller, Řezáčová, Zacharov), ktorí sa podieľajú na tvorbe a aktualizácii novej webovej verzie Českého meteorologického slovníka. Po ukončení prednášok sa konala exkurzia v sade a pivovare Českej zemědělské univerzity Praha-Suchdol.

Druhý deň pokračoval prednáškami o amatérskej meteorológií (Amatérská meteorologická spoločnosť), zástupkyňa ÚFA AV ČR predstavila dokument Bouřlivé počasí z cyklu Tiché hrozby, ktorý pripravuje práve Akadémia vied a bude po dokončení všetkých častí odvysielaný v Českej televízii. Ďalej zazneli prednášky o meraniach v ČHMÚ Doksany, o klíme Šumavy či o typizácii poveternostných situácií pre ČR a SR. Tiež sa predstavili zástupcovia súkromného sektora (InMeteo, WINDY) a zaujímavá bola aj prezentácia o zhodnotení dopadov leta 2015 na úmrtnosť v ČR (ÚFA AV ČR).

Konferenciu v neskorých popoludňajších hodinách zhodnotil, zhrnul a ukončil predseda Českéj meteorologickej spoločnosti Doc. RNDr. Tomáš Halenka, CSc. Vyjadril vieri, že budúcnosť amatérskej, profesionálnej i súkromnej meteorológie bude prínosom pre všetky zložky a vzájomná spolupráca prispeje k zaujímavým odborným výsledkom.

Paulína Valová
predseda SMS pri SAV

KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV NA PÔDE SHMÚ

Aj v tomto roku sa 8. 11. uskutočnila Konferencia mladých vedeckých odborníkov (KMO) z oblasti hydrológie, meteorológie, klimatológie a kvality ovzdušia a z oblasti vodného hospodárstva. Jej organizovanie sa už stalo tradíciou a tento rok sme zaznamenali jubilejné, 30-te pokračovanie tejto konferencie spojenej so súťažou v jednotlivých sekciách. Súťaže majú medzinárodný charakter a zúčastňujú sa ich aj mladí odborníci z Českej republiky.

Hlavným organizátorom súťaže mladých odborníkov je už tradične Slovenský hydrometeorologický ústav.

Organizáciu KMO 2018 podporili International Hydrological Programme of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrológiu, Slovenská meteorologická spoločnosť, Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, Global Water Partnership Slovensko a IBL Software Engineering Slovakia.

Konferencie sa zúčastnilo 157 účastníkov, z toho 33 súťažiacich, 22 porotcov a 102 ostatných účastníkov, ktorí prišli podporiť kolegov, ale najmä oboznámiť sa s prácammi mladých študentov, kolegov.



30. konferencia mladých hydrológov bola gestorovaná RNDr. Pavlom Miklánkom, CSc. ako zástupcom International Hydrological Programme of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrológiu, ktorý sa chopil súčasne aj úlohy predsedu poroty.

Do súťaže sa zapojilo 14 súťažiacich s 13 súťažiacimi príspevkami, z toho 4 príspevky boli z Českej republiky a 5 príspevkov z SHMÚ. Porota po posúdení písomnej časti a prezentácie vybrała tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

- **Ondřej Hotový** – Energetická bilance snehu v lesním prostredí: časová a prostorová variabilita krátkovlnné a dlouhovlnné radiace, UK Praha, Přírodovědecká fakulta,
- **Kateřina Knoppová** – Runoff Prophet | Nástroj pro dlouhodobé hydrologické prognózy v podmírkách změny klimatu, ČHMÚ Brno,
- **Katarína Kotríková** – Posúdenie využitia multikritériálnej optimalizačnej funkcie pri modelovaní vodnej hodnoty snehu, SHMÚ.

17. konferencia mladých vodohospodárov sa uskutočnila pod gestorstvom Ing. Ľubice Kopčovej, predsedníčky Združenia zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve. Predsedníčkou poroty bola Ing. Alena Bujnová (SVP, š. p. BŠ). Do tejto súťaže sa zapojilo 13 súťažiacich s rovnakým počtom súťažných príspevkov, z toho 6 bolo príspevkov z Českej republiky.

Tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

- **Lucia Ivanová** – How effective is the removal of the micropollutants at the wastewater treatment plants?, STU BA, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie,
- **Adam Janík** – Štúdia protipovodňových opatrení obce Veľká Lúka, Svf STU BA, Katedra vodného hospodárstva krajiny,
- **Stanislav Paseka** – Stanovení retenčného prostoru nádrže v podmínkach nejistot, VUT, Fsv UVHK, Brno.

19. Konferencia mladých meteorológov, klímatológov a kvality ovzdušia mala gestorku RNDr. Paulínu Valovú, predsedníčku Slovenskej meteorologickej spoločnosti. Úlohy predsedníčky poroty sa chopila Mgr. Mária Dernová, PhD. (SHMÚ BA). Do súťaže sa zapojilo 9 súťažiacich s 8 príspevkami, všetci súťažiaci boli zo slovenských pracovísk, z toho 4 príspevky zo SHMÚ. Na porotu zapôsobilo vystúpenie najmladšej účastníčky tejto sekcie, ale aj celej KMO, ktorá bola ocenéna Špeciálnou cenou poroty - Mladý vedecký talent.

Tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

- **Adam Bržiak** – Návrh a validácia člunkového zrážkomera s využitím 3D tlače, Svf STU BA, Katedra vodného hospodárstva krajiny,
- **Vladimír Piskala** – Jak se během 20. století změnila cirkulace na severní polokouli?, Univerzita Karlova Praha, Přírodovědecká fakulta,
- **Dušan Štefánik** – Cezhraničný prenos koncentrácií znečisťujúcich látok na území Slovenska, SHMÚ.

Špeciálna cena poroty - mladý vedecký talent

- **Tereza Šedivá** - Validation of CMAQ chemical-transport model and its meteorological inputs, SHMÚ.

Víťazné súťažné príspevky, štatúty konferencie a ďalšie informácie o Konferencii mladých odborníkov 2018 sú uverejnené na <http://www.shmu.sk/sk/?page=2328>.

Alena Blahová, Danica Lešková
SHMÚ, Bratislava

Vít'azi Konferencie mladých odborníkov 2018



PERSONÁLIE

PERSONALS

JUBILANT

prof. Ing. FRANTIŠEK ŠPÁNIK, CSc.

Prof. Ing. František Špánik, CSc. dovŕšil na Svetový meteorologický deň významné životné jubileum - 85 rokov života. Narodil sa 23. marca 1933 v Čelkovej Lehote, okres Považská Bystrica. Po maturite na Gymnáziu v Púchove v rokoch 1953 – 1958 pokračoval v štúdiu na Vysokej škole poľnohospodárskej v Nitre, v odbore fytotechnika. Ako čerstvý absolvent potom v rokoch 1958 – 1960 pracoval v Oblastnom ústave pre typizáciu a vývoj poľnohospodárskych a lesných stavieb v Bratislave. Od 1. októbra 1960 svoj profesijný život spojil s Vysokou školou poľnohospodárskou v Nitre, kde pôsobí dodnes - v súčasnosti už v pozícii emeritného profesora Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Vedecký rast je spojený aj s Vysokou školou zemědělskou v Prahe, kde absolvoval vedeckú ašpirantúru a v roku 1972 obhájil kandidátsku dizertačnú prácu. Vtedy sa už definitívne orientoval na agrometeorológiu. Na Vysokej škole poľnohospodárskej bol menovaný v roku 1981 docentom a v roku 1993 profesorom.

Svoju vedecko-výskumnú činnosť sústredil na štúdium produkčných procesov poľných a záhradných plodín. Svojím cieľavedomým úsilím dosiahol viaceré originálne výsledky v riešení aktuálnych problémov bioklimatológie. Agroklimatická rajonizácia Slovenska, teplotná a vlahová zabezpečenosť záhradných a poľných plodín, tvorba a ochrana prírodného prostredia a dôsledky klimatickej zmeny na rastlinnú výrobu boli a sú hlavnými témami jeho výskumných aktivít. Dosiahnuté výsledky spracoval a publikoval vo viac ako 250 vedeckých a odborných prácach a predniesol na vyše 100 domácich a zahraničných konferenciách a seminároch. Významný vedecký prínos jubilanta k rozvoju agrometeorológie predstavujú kolektívne vedecké monografie: Potenciálne úrody základných poľných plodín podľa príkonu fotosynteticky aktívnej radiácie (1987), Klimatické zmeny a ich dopad na poľnohospodárstvo (1997), Aplikovaná agrometeorológia (1997, 1999, 2000), Hydrológia poľnohospodárskej krajiny (1999), Ukazovatele agroklimatickej rajonizácie poľnohospodárskej výroby na

Slovensku v podmienkach klimatickej zmeny (2000), Klimatické a fenologické pomery Nitry (1996), Priemerné a extrémne úhrny potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie na území Slovenska (2002). Bol vedúcim kolektívu autorov učebnice „Biometeorológia“, ktorá bola poctená Cenou rektora SPU v Nitre ako najlepšia učebnica roka 2004.

Výsledky jeho tvorivej činnosti v rámci výskumných projektov (4 vyriešené projekty VEGA, Country Study SR) boli zhodnotené okrem bohatej publikej činnosti aj v rámci výstupov Národného klimatického programu SR (1996, 1997, 2000, 2004).

Trvalou črtou prof. Špánika je jeho srdečný vzťah k študentom a doktorandom, ako aj elán v práci. Bol vedúcim viac ako 60 diplomových prác a školiteľom 7 ašpirantov a doktorandov. Pre svojich študentov vypracoval takmer 2 desiatky skript a učebných textov. Študentov vedie k sústavnému štúdiu našej i zahraničnej odbornej literatúry. Má rozhodujúcu zásluhu na vzniku Katedry biometeorológie a hydrologie Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre, ktorej bol viacerou funkčnými obdobiami vedúcim. Veľkú pozornosť venoval výstavbe a chodu agrometeorologickej stanice, ktorá poskytuje výsledky agrometeorologickej a fenologických meraní pre vedecko-výskumnú činnosť pracoviska, ako aj pre širokú verejnosť.

Významná je jubilantova spolupráca s vedeckými a riadiacimi inštitúciami doma i v zahraničí. Je členom ich vedeckých a redakčných rád. Bol dlhoročným členom Česko-Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri ČSAV a je zakladajúcim členom Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV. Úspešne sa angažoval tiež v rámci Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV a Slovenskej spoločnosti pre vedy poľnohospodárske, lesnícke a potravinárske pri SAV. Vysokého uznania si zaslhuje jeho obetavá a úspešná práca vo funkcii podpredsedu a predsedu Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV.

Pod jeho vedeckou redakciou vyšlo viac ako 3 desiatky zborníkov a bulletínov a 2 desiatky Štúdií SBkS pri SAV. Bol predsedom organizačného výboru viac ako 2 desiatok úspešných národných i medzinárodných konferencií a seminárov. Hlavne jeho zásluhou sa Slovenská bioklima-

tologickej spoločnosti zaradila medzi najaktívnejšie vedecké spoločnosti SAV.

Jubilant svojou činnosťou výrazne prispel k rozvoju slovenskej agrometeorológie a k výchove odborníkov – poľnohospodárov. Vzhľadom na jeho medzinárodné aktivity a rozsiahlu publikačnú činnosť ho môžeme označiť za významného agroklimatológika tak na Slovensku, ako aj v rámci strednej Európy.

Dlhoročná a mnohostranná činnosť prof. Špánika získala veľký počet verejných ocenení a uznaní. Medzi najcennejšie sa radia: Zlatá medaila SPU v Nitre, členstvo v Slovenskej akadémii poľnohospodárskych vied a Veľká medaila sv. Gorazda za významnú celoživotnú pedagogickú a vedeckú činnosť a podiel na rozvoji školstva SR.

Vážený pán profesor, do ďalších rokov života Vám prajeme pevné zdravie, a samozrejme, spokojnosť v osobnom živote a na pracovisku. Prajeme Vám ešte mnoho stretnutí s kolegami, ktorí Vás majú radi a vážia si Vás pre Vaše krásne ľudské vlastnosti.

Bernard Šiška
SPU v Nitre

JUBILEUM RNDr. IVANA KUNSCHA, CSc.

Začiatkom roka 2018 oslávila RNDr. Ivan Kunsch, CSc. významné životné jubileum - osemdesiate piate narodeniny. Dr. Ivana Kunsch právom zaraďujeme medzi významné osobnosti slovenskej hydrológie. Bol jedným zo zakladateľov a budovateľov hydroprognóznej služby.

Narodil sa v Považskom Chlmci 8. februára 1933. Gymnázium navštievoval v Trstenej, vysokoškolské štúdiá ukončil na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského, kde si zvolil odbor hydrológia - klimatológia, a práve rozhranie týchto dvoch vedných disciplín poskytlo Dr. Kunschovi odrazový mostik do hydrologických predpovedí.

Dr. Ivan Kunsch počas celej svojej profesionálnej kariéry zostal verný jedinej inštitúции – Slovenskému hydrometeorologickému ústavu, a to od roku 1957 až do roku 1995.

Po povodniach v rokoch 1958 a 1960 sa pristúpilo k decentralizovaniu hydroprognóznej služby. Dr. Kunsch bol pri zdrode pobočiek hydroprognóznych pracovísk v Žiline, Banskej Bystrici a Košiciach, ako aj pri budovaní moderného a medzinárodne plne akceptovaného pracoviska v Bratislavе. Okrem riadenia tohto pracoviska a budovania jeho odborného a personálneho zázemia v rokoch 1965 až 1990 sa zapojil do viacerých podnikových, rezortných a štátnych výskumných úloh. Postavil metodický základ na ktorom hydroprognózna prax fungovala prakticky do prelomu storočí.

Ani po odchode do dôchodku neprestal tvoriť pracovať a odbornej verejnosti je doposiaľ známy jeho prístup k využitiu zrážok z povodia Moravy v lete 1997 pre modelovanie možnej povodňovej situácie na našom území. Táto postup hydrologovia odvtedy uplatnila už viackrát.

V rokoch 1990 až 1993 bol námestníkom pre hydrologiu. Jeho významným prínosom pre slovenskú hydrologiu bola aj výchova mladých odborníkov, a to ako pracovníkov SHMÚ, tak študentov Prírodovedeckej fakulty UK.

Cenný a užitočný pracovný aj morálny odkaz Dr. Ivana Kunscha, CSc. stále rezonuje na jeho bývalom pracovisku. Preto by som rada pri príležitosti životného jubilea zaželať za seba aj ostatných kolegov Dr. Ivanovi Kunschovi dobré zdravie a spokojnosť do ďalších rokov.

Ol'ga Majerčáková
SHMÚ, Bratislava

ING. JÁN DANČ SEDEMDESIATROČNÝ

V tomto roku sme si pripomenují významné životné jubileum, sedemdesiate narodeniny Ing. Jána Danča, dlhoročného pracovníka SHMÚ, ktorý pôsobí na jeho pôde už 45 rokov.

Ing. Ján Danč sa narodil 10.2.1948 v Bratislave. Vyrostal v rodine, kde slovo meteorológia nebolo neznámym pojmom, práve naopak, jeho otec, prof. Ján Danč bol jedným z nestorov a zakladateľov modernej meteorologickej služby na Slovensku, neskôr niekoľkokrát aj riaditeľom jej inštitucionalizovaných zložiek. Odborne sa angažoval najmä v oblasti klimatológie.

Ing. Ján Danč mladosť a študentské roky stráví v rodnom meste, kde aj maturoval na gymnáziu na Metodovej ul. v Bratislave. Vysokoškolské štúdium ukončil v Bratislave štátnou skúškou v r. 1973 na Slovenskej vysokej škole technickej na elektrotechnickej fakulte, v odbore Oznamovacie elektrotechnické zariadenia – rádioelektronika.

Inšpirovaný domácim prostredím, po ukončení štúdia nastúpil na SHMÚ (HMÚ) 6.8.1973, ako odborný pracovník prístrojového oddelenia pre klimatológiu, kde dlhodobo pracoval vo funkcií inžiniera, resp. vedúceho inžiniera pre klimatológiu.

Už od konca osemdesiatych rokov sa výrazne podieľal najmä na :

- vývoji nových meracích metód v meteorológii,
- automatizácii meracích metód a systémov,
- metrologickom zabezpečovaní meteorologickej meraní pozemných meracích systémov a ich koordinácií v rámci SHMÚ.

Spolupracoval aj na inštalácii a odstraňovaní porúch na automatizovaných meteorologickej systémoch na letiskách.

Koncom deväťdesiatych rokov začal pracovať na oddelení strediska kalibračnej služby, ktorého bol vedúcim od 22.11.1997.

V nasledujúcom období, po organizačných zmenách, začal budovať kalibračné laboratórium, ktorého základom bolo prístrojové oddelenie (v rámci prístrojového oddelenia sa realizovali už v 60-tych rokoch kalibrácie meradiel teploty a vlhkosti v klimatickej komore a v kvapalinových kryostatoch). V priestoroch bývalej knižnice ústavu sa následne nainštalovala na svoju dobu moderná technika (etalonáže zariadenia a prístroje, výpočtová technika) slúžiaca na kalibrácie meteorologickej meracích zariadení, ktoré používa SHMÚ vo svojich monitorovacích sietiach.

Takto novovybudované kalibračné laboratórium bolo pod vedením Ing. Danča prvý raz akreditované v roku 2002 a v roku 2005 bola akreditácia rozšírená na úroveň dnešného rozsahu, kedy boli doakreditované kalibračné metódy pre zrážkomery a analyzátoru znečistiťujúcich látok v ovzduší.

Ing. Ján Danč sa venoval aj medzinárodnej spolupráci v oblasti prístrojovej techniky najmä na pôde WMO a v roku 2005 sa zaslúžil o to, že Kalibračné laboratórium SHMÚ získalo štatút Regionálneho prístrojového centra pre strednú a východnú Európu (Regional Instrument Centre (RIC) WMO RA VI). V roku 2006 toto novoznáknuté centrum pod vedením Ing. Jána Danča usporiadalo medzinárodné vzdelávacie podujatie pre WMO „Training Workshop WMO on Metrology for the Eastern and Central Europe RA VI“.

Ing. Ján Danč je držiteľom nasledovných ocenení:

- V roku 2009 mu bolo udelené rezortné ocenenie „Čestné uznanie ministra životného prostredia za mimoriadne výsledky a dlhoročný prínos v starostlivosti o životné prostredie“, najmä za dlhoročný prínos k rozvoju automatizácie meteorologických meraní, za vybudovanie akreditovaného kalibračného laboratória a za získanie štatútu Regionálneho prístrojového centra Svetovej meteorologickej organizácie pre krajinu strednej a východnej Európy.
- V roku 2013 získal ocenenie za príspevok k aktivitám regionálnej asociácie VI (Európa) za obdobie 2009 – 2013, ako členovi Task Team on Regional Instrument Centres of the WG/TDI (členovi tímu pre regionálne prístrojové centrá).
- Pri príležitosti 20. výročia vzniku Kalibračného združenia Slovenskej republiky (KZSR) v roku 2013 mu bola udelená pamätná medaila za zásluhy o rozvoj činnosti KZSR.
- V roku 2014 mu bola udelená Bronzová medaila pri príležitosti 60. výročia vzniku SHMÚ "Za zásluhy o rozvoj hydrológie a meteorológie".

Ing. Ján Danč neúnavne a zanietene celý profesionálny život venoval, a do dnešných dní aj venuje, technike a meraniu v oblasti tak špecifickej ako je metrológia v meteorológii. Jeho tvorivý prístup je dodnes inšpiráciou a zároveň aj možnosťí získavania vedomostí a skúseností v tomto úzko špecializovanom odbore pre mladších spolupracovníkov a kolegov.

Týmto krátkym príspevkom sa chceme pripojiť ku gratulantom k jeho životnému jubileu. Chceme mu vyjadriť osobné podčakovanie za jeho celoživotnú prácu, ktorú venoval SHMÚ, a tiež za jeho ľudský a osobný prístup pri výkone svojej profesie.

Radovan Filo
SHMÚ, Bratislava

JUBILANT Ing. BORIS MINÁRIK

V tomto roku oslavil pekné 70-ročné jubileum nás kolega Ing. Boris Minárik. Narodil 8. 6. 1948 v Kovarcach, okres Topoľčany. Vyštudoval Strednú všeobecnovzdelávaciu školu na Metodovej v Bratislave a v roku 1972 absolvoval Elektrotechnickú fakultu Slovenskej vysokej školy technickej v Bratislave. Nastúpil na Ústav technickej kybernetiky SAV na pracovisko matematického modelovania, kde sa venoval aplikáciám na vodohospodárske a hydrologické procesy. Pracoval v Slovenskom energetickom podniku a potom vo Výskumnom ústave energetickom EGÚ, kde sa

podieľal na vývoji programového vybavenia vážskej energetickej sústavy.

Svoju kandidátsku prácu na ÚTK SAV zameral na analýzu nestacionárnych dynamických systémov. V rámci výskumných úloh EGÚ vypracoval metódou na odhad sumárnych prítokov do kaskády vodných elektrární v podmienkach nedostatočných informácií pre potreby krátkodobého plánovania výroby s postupným spresňovaním odhadov. V rámci kandidátskej práce „Príspevok k identifikácii nestacionárnych dynamických systémov s aplikáciou na vodo hospodárske procesy“ využil prostriedky matematického modelovania v stavovom priestore a navrhhol dvojurovňovú metódou na odhad kovariančných matíc neurčitosti systému pozorovania a dynamiky systému. Jeho prínos bol vyhodnotený Medzinárodnou organizáciou pre automatické riadenie IFAC v roku 1983 ako jeden z piatich najvýznamnejších príspevkov v odbore stochastická hydrologia za predchádzajúce trojročné obdobie. Príspevok bol uverejnený aj v knižnej forme v prestížnom vydavateľstve Pergamon Press.

V roku 1983 nastúpil na SHMÚ do odboru Hydrologickej informačnej a predpovednej služby, slúžil v prevádzke a mal na starosti aj viaceré výskumné úlohy. Vyvinul predpovedný programový systém, ktorý bol v prevádzke do zavedenia systému POVAPSYS.

V roku 1991 bol v USA, kde pracoval mimo odbor. Po návrate bol kontaktným pracovníkom pre Svetovú banku a ďalších desať medzinárodných finančných inštitúcií v rámci Environmentálneho programu pre povodie Dunaja. Hlavnou náplňou bola problematika finančných opatrení vo vzťahu k zlepšeniu stavu vód a životného prostredia. Bol členom delegácie Slovenska pri rokovaniach finančných inštitúcií pri plánovaní úloh v povodí Dunaja, pri príprave dohovoru o Dunaji a pri zriadení Medzinárodnej komisie na ochranu Dunaja ICPDR. V rámci ICPDR bol až do roku 2008 členom pracovných skupín PS pre vodný manažment, PS pre povodie Tisy a PS pre účasť verejnosti.

V rokoch 1993 až 1997 bol námestníkom riaditeľa pre hydrológiu. Mal na starosti aj monitoring vplyvu VD Gabčíkovo na prírodné prostredie. V roku 2001 prešiel na Výskumný ústav krajinného inžinierstva, ktorý sa neskôr včlenil do Slovenského vodohospodárskeho podniku, š.p. a potom prešiel do š.p. Hydromeliorácie. Bol vedúcim oddelenia vodohospodárskej politiky, oddelenia agrohydrológie a agrometeorológie, vedúcim dispečingu vlahovej potreby SR, bol aj manažérom projektov EÚ zameraných na informačné systémy pre poľnohospodárov. Asistoval ministerstvu pri implementácii legislatívy EÚ.

V roku 2005 sa opäť vrátil na SHMÚ na úsek hydrológie do odboru Kvalita povrchových vód a v rokoch 2008 – 2009 bol jeho vedúcim. Ako špecialista mal na starosti viaceré medzinárodné projekty, hlavne projekt WMO/GWP Pilotný projekt pre Strednú a Východnú Európu, bol hlavným manažérom projektu ako hlavný partner INTERREG MOSES Zlepšenie manažmentu povodní. Mal na starosti viaceré projekty Global Water Partnership, v ktorých sa angažovalo GWP Slovensko.

Vyvrcholením aktivít Borisa Minárika bola pozícia riaditeľa Medzinárodného centra pre hodnotenie vód Európskej hospodárskej komisie OSN (IWAC UNECE)

počas hostovania centra na Slovensku (2008 – 2012). Úlohou IWAC je pomáhať vládam krajín priestoru EHK OSN pri implementácii dohovoru o vodách v cezhraničnom kontexte. Boris Minárik ako riaditeľ IWAC bol manažérom mnohých medzinárodných aktivít, hlavne v krajinách Východnej Európy, Kaukazu a Strednej Ázie a manažérom viacerých ďalších medzinárodných projektov. Najvýznamnejšie boli projekty: UNDP/GEF Integrácia princípov a postupov ekologického manažmentu do krajinného a vodo-hospodárskeho manažmentu na Východoslovenskej nížine, projekt NATO Veda pre mier a bezpečnosť „Monitorovanie povodní a predpovedanie v povodí Pripyat“ (Ukrajina a Bielorusko). Za svoj osobný prínos pri príprave dohovoru o vodách v povodí Dnestra (Ukrajina, Moldavsko) dostał ocenenie príslušných vlád. Hlavným prínosom IWAC bola Druhá správa o cezhraničných vodách, v ktorej SR podstatne prispelo k riešeniu cezhraničných problémov v kritických oblastiach, kde voda je hlavným problémom medzinárodnej spolupráce.

Po odchode na dôchodok v roku 2013 Boris Minárik ďalej pracoval na dohodu na projekte EÚ „SEE River“ - riadenie koridorov medzinárodných riek v krajinách juhovýchodnej a východnej Európy (2012 – 2014). Ďalej asistoval UNECE a Kazachstanu pri príprave hostovania IWAC v Kazachstane a pri príprave účasti SR v aktivitách IWAC v nasledujúcom období 2019 – 2021.

Jubilantovi želáme ešte veľa rokov v plnom zdraví, nech mu popri starosti o vnúčence vydrží aj jeho neutíchajúci záujem o medzinárodnú hydrologickú diplomaciu a pracovný elán!

Vladimír Rak, Jana Poórová
SHMÚ, Bratislava

ODIŠLA PRVÁ ŽENA PREDPOVEDNEJ SLUŽBY NA SLOVENSKU

Na začiatku augusta 2018 sme sa v bratislavskom krematóriu rozlúčili s kolegynou a vzácnym človekom - prvou ženou v predpovednej službe SHMÚ, RNDr. Dagmar Kriškovou.

Dagmar Krišková sa narodila v júli 1944 v Tisovci, detstvo a mladost' prežila v Rimavskej Sobote, kde navštievala základnú školu a tiež Jedenásťročnú strednú školu. V roku 1961 zmaturovala a pokračovala v štúdiu na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave, špecializácia matematika a fyzika, po druhom ročníku sa špecializovala na meteorológiu a klimatológiu. Štúdium ukončila v roku 1966 a zamestnala sa v Slovenskej akadémii vied, vtedajšom Ústave meteorológie a klimatológie, kde sa podieľala na výhodnocovaní záznamov rôznych zložiek slnečného žiarenia.

V roku 1969 dostala ponuku so Slovenského hydro-meteorologického ústavu pracovať na predpovedi počasia. A tak sa stala historická udalosť – pani Krišková začala ako prvá žena v histórii SHMÚ pracovať v predpovednej službe SHMÚ. Venovala sa najmä strednodobej predpovedi

a jej predpovede ste mohli desaťročia sledovať pod značkou KD. V období 1981 – 1993 bola vedúcou Oddelenia spracovania meteorologických údajov.

Aktívne spolupracovala na mnohých výskumných úlohách, dlhé roky sa podieľala na typizácii poveternostných situácií v spolupráci s kolegami z Českého hydro-meteorologického ústavu, rovnako aktívne sa venovala výhodnocovaniu úspešnosti predpovedí počasia pre Slovensko i Bratislavu. Práve k tejto téme napísala niekoľko odborných príspevkov. Aktívne pracovala aj v Slovenskej meteorologickej spoločnosti. Často spolupracovala s médiami, skôr narodení si ju určite pamätajú aj z televíznej obrazovky, najmä z 80-tych rokov.

Až do odchodu do dôchodku v roku 2016 bola v práci veľmi aktívna, pravidelne sa vzdelávala a prijímalu nové výzvy. Kráčala a chcela kráčať s dobou, preto si i napriek vyššiemu veku osvojila nové IT technológie a zdokonaľovala sa v počítačovej gramotnosti.

Pani Dagmar Krišková bola veľmi múdra a láskavá žena. Mala rada svoju prácu aj kolegov, nepatriala však medzi „tzv. spoločenské typy“, z rôznych osláv či posedení sa nenápadne a potichu vytratila. Bola veľmi skromná, pracovitá, nekonfliktná, so svojimi kolegami mala veľmi dobré vzťahy. Jej charakteristickou črtou povahy bolo rýchle prispôsobovanie sa novým podmienkam a poriadku milovnosť. Napriek pribúdajúcim zdravotným tŕažkostiam sa nikdy nestŕžovala.

Veľmi pozitívny prístup mala k mladším kolegom, šarmantným spôsobom im dokázala poradiť. Nikdy sa nevyvyšovala, nerobila sa dôležitou a napriek tomu - alebo práve preto - všeobecne požívala veľký rešpekt a úctu. Poznali sme ju ako optimisticky naladenú osobu s obrovským zmyslom pre humor, ktorý bol krásny a láskavý.

Dáška, ako sme ju na predpovedi počasia familiarne volali, bola veľmi zručná, rada šila, vyšívala, nekonečne milovala filmy, divadlo a najmä knihy, ktorých mala plný byt. Veľmi málo ľudí vedelo, že nádherne kreslila. Dodnes máme poniektorí odložené ňou nakreslené a veľmi verné portréty.

V súkromnom živote sa naplno venovala svojmu synovcovi a bratovi. Keď sa jej bratovi výrazne zhoršilo zdravie, rozhodla sa pre náhly odchod do dôchodku, aby mu pomohla. Tešila sa na to, že keď sa jej bratovi zlepší zdravotný stav, začne si naplno užívať dôchodok. Ani nie 4 mesiace po tom, čo ju opustil jej brat, odišla do večnosti aj ona. Nik to nečakal, všetci zostali prekvapení. Tak ako vedela ona prekvapíť mnohých počas svojho života, tak prekvapivo rýchlo sa s ním rozlúčila.

Zostalo po nej v práci i srdciach mnohých z nás nečakávané prázdne miesto. Do meteorologického neba odišla skromná, mimoriadne pracovitá, nekonfliktná kolegyná, človek s úžasným zmyslom pre poriadok a spravodlivosť.

Nech sú jej nebeské obláčiky pohodlné a blesky z nich pozdravom pre nás, ktorí na ňu myslíme.

Paulína Valová
SHMÚ, Bratislava