

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2016
Ročník 19 – Číslo 1
VOLUME 19 – NUMBER 1

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

HIGH TEMPERATURES AND HEAT WAVES IN SLOVAKIA	
Milan Lapin, Pavel Šťastný, Maroš Turňa, Eva Čepčeková	3
ANALYSIS OF THE CENTRAL EUROPEAN SEVERE STORMS USING T-RE PLOTS DERIVED FROM MSG DATA	
Michal Pokorný, Michal Žák	11
CHANGES IN SELECTED CHARACTERISTICS OF METEOROLOGICAL ELEMENTS IN THE LOWLANDS OF SLOVAKIA AND THEIR INFLUENCE ON CLIMATE CLASSIFICATION	
Gabriela Ivaňáková, Pavol Faško, Lívia Labudová	23
OPTICAL PROPERTIES OF ATMOSPHERIC AEROSOLS IN THE ULTRAVIOLET SOLAR SPECTRUM	
Peter Hrabčák.....	35
ACTIVITIES OF THE SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE DURING ASSESSMENT OF CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL ACCIDENT ON THE TERRITORY OF CZECHOSLOVAKIA	
Štefan Škulec	43

INFORMATION

Climate Atlas of Slovakia was issued	
Katarína Mikulová.....	51
Conference „Chernobyl 1986 – History, consequences and possible actions“	
Terézia Melicherová	53

PERSONALS

OBSAH

VYSOKÉ TEPLITY VZDUCHU A VLNY HORÚČAV NA SLOVENSKU	
Milan Lapin, Pavel Šťastný, Maroš Turňa, Eva Čepčeková.....	3
ANALÝZA BOUŘÍ VE STŘEDNÍ EVROPĚ S VYUŽITÍM T-RE DIAGRAMŮ ZÍSKANÝCH Z DRUŽICOVÝCH DAT MSG	
Michal Pokorný, Michal Žák	11
ZMENY VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK METEOROLOGICKÝCH PRVKOV V NÍŽINNÝCH POLOHÁCH SLOVENSKA A ICH VPLYV NA KLASIFIKÁCIU KLÍMY	
Gabriela Ivaňáková, Pavol Faško, Lívia Labudová.....	23
OPTICKÉ VLASTNOSTI ATMOSFÉRICKÝCH AEROSÓLOV V ULTRAFIALOVEJ OBLASTI SLNEČNÉHO SPEKTRA	
Peter Hrabčák	35
AKTIVITY SLOVENSKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU PRI RIEŠENÍ NÁSLEDKOV HAVÁRIE JE ČERNOBYĽ NA ÚZEMÍ ČESKOSLOVENSKA	
Štefan Škulec	43

INFORMÁCIE

Klimatický atlas Slovenska vyšiel knižne	
Katarína Mikulová.....	51
Konferencia „Černobyl 1986 – Minulosť, dôsledky, východiská“	
Terézia Melicherová	53

PERSONÁLIE

HIGH TEMPERATURES AND HEAT WAVES IN SLOVAKIA

MILAN LAPIN¹, PAVEL ŠŤASTNÝ², MAROŠ TURŇA², EVA ČEPČEKOVÁ²

¹ Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, 842 48 Bratislava

² Slovak Hydrometeorological Institute, 833 15 Bratislava

Significant warming of climate was observed in the last four decades also in Slovakia. Mean air temperature increased by about 2 °C since 1981, both in the cold and warm half-years. More over unusual episodes of very high temperatures occurred during the summer season. In the paper a definitions of significant warm or hot days and heat waves are presented. Elaboration of data was carried out using mainly measured series from Hurbanovo (115 m a.s.l., lowland in SW Slovakia), 3 other stations in SW Slovakia and 3 stations in E Slovakia. Here only summer, tropical and supertropical days (with daily maximum $\geq 25^{\circ}\text{C}$, $\geq 30^{\circ}\text{C}$, $\geq 35^{\circ}\text{C}$), summer, tropical and supertropical nights (with nocturnal minimum $\geq 15^{\circ}\text{C}$, $\geq 20^{\circ}\text{C}$, $\geq 25^{\circ}\text{C}$) are analyzed. Daily maximum is considered as the highest temperature from 21 h MLT of previous day to 21 h MLT of giving day, nocturnal minimum temperature is from 21 h MLT of previous day to 07 h MLT of giving day (MLT is mean local time). The heat wave was defined as of minimum 5-day event with maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$ each day and maximum temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$ in one day at least (in the warmest part of Slovakia). Second definition of heat wave is as follows: minimum 5-day event with daily average temperature $\geq 23^{\circ}\text{C}$ each day and daily average temperature $\geq 27^{\circ}\text{C}$ in one day at least (in the warmest part of Slovakia). While the Hurbanovo Observatory belongs among the warmest Slovak localities, this station is appropriate as a sample according to the definition.

Aj na Slovensku bolo zaznamenané v posledných 4 desaťročiach významné otepenie klímy. Priemerná teplota vzduchu vzrástla asi o 2°C od roku 1981, tak v teplom ako aj v chladnom polroku. V lete sa navyše vyskytli nezvyčajné epizódy s veľmi vysokou teplotou vzduchu. V príspevku venujeme pozornosť definovaniu významne teplých dní a vln horúčav. Spracovanie údajov bolo hlavne z časových radov meranej teploty vzduchu v Hurbanove (115 m n.m., nížina na JZ Slovenska), z 3 ďalších staníc na JZ Slovenska a 3 staníc na V Slovenska. Analyzujeme tu iba letné, tropické a supertropické dni (s denným maximom $\geq 25^{\circ}\text{C}$, $\geq 30^{\circ}\text{C}$, $\geq 35^{\circ}\text{C}$), letné, tropické a supertropické noci (s nočným minimom $\geq 15^{\circ}\text{C}$, $\geq 20^{\circ}\text{C}$, $\geq 25^{\circ}\text{C}$). Denné maximy sú definované ako najvyššia teplota od 21. h SMČ predošlého dňa do 21. h SMČ daného dňa, nočné minimum teploty je od 21. h SMČ predošlého dňa do 07. h SMČ daného dňa (SMČ je stredný miestny čas). Vlna horúčav je definovaná ako najmenej 5-denné obdobie s denným maximom teploty vzduchu $\geq 30^{\circ}\text{C}$ a s maximom teploty $\geq 35^{\circ}\text{C}$ aspoň počas jedného dňa (v najteplejšej časti Slovenska). Druhá definícia vln horúčav je takáto: najmenej 5-denné obdobie s denným priemerom teploty vzduchu $\geq 23^{\circ}\text{C}$ a denný priemer teploty $\geq 27^{\circ}\text{C}$ aspoň počas jedného dňa (v najteplejšej časti Slovenska). Vzhľadom na to, že Hurbanovo patrí medzi najteplejšie lokality na Slovensku, je táto stanica vhodná ako vzorka spracovania v zmysle definície.

Key words: heat waves, warm and hot days, warm and hot nights, climate change

INTRODUCTION

Slovakia lies in the Central Europe with moderate climate having summer (June – August) average temperature about 19°C in the lowlands. The mean annual number of summer days (with daily maximum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$) is above 50 in the lowlands and mean annual number of tropical days (with daily maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$) is above 10 in the lowlands. These characteristics are valid for the periods from 1901 to 1990. Since the late 80th of the 20th century a significant warming of summer and warm half-year seasons was observed (Fig. 1) what resulted also in the increase of heat wave events and the long spells of summer and tropical days. Nocturnal minimum temperatures increased even more than the daily maximum ones, so number of tropical nights (with minimum temperature $\geq 20^{\circ}\text{C}$) increased significantly as well, mainly in the southwestern Slovakia. Meteorological stations with climatologic observations have in Slovakia the terms of temperature measurements at 7, 14 and 21 h of MLT (mean local time), that is

why daily extremes are measured twice a day – at 7 and at 21 h of MLT. The daily temperature maximum and minimum are considered as extremes (highest and lowest values) between the 21st h MLT of previous day and 21st h MLT of given day. In our elaboration we changed the definition of daily temperature minimum to nocturnal temperature minimum (between the 21st h MLT of previous day and 7th h MLT of given day). Both methods of temperature minima are compared only in the period 1971 to 2015 because of not available nocturnal extremes data in the previous years. As seen in Figure 2 and 3, the absolute daily maxima of air temperature and absolute maxima from daily air temperature minima measured in the meteorological shelter were frequently much higher in the 1991–2015 period (mainly in the summer season) compared to the 1961–1990 one. It is very probable that the characteristics from the 1961–1990 period are similar or some colder than from any previous 30-year period since 1870 (Climatic Conditions of Hurbanovo, 1960, Climatic and Phenological Conditions, 1966, 1968, 1972).

Figure 1. Mean air temperature in summer (June to August, top) and warm half-year (April to September, bottom) at Hurbanovo, lowland, 115 m a.s.l., SW Slovakia (11-year moving averages are included, 2005–2015 is in 2010, by the SHMÚ data).

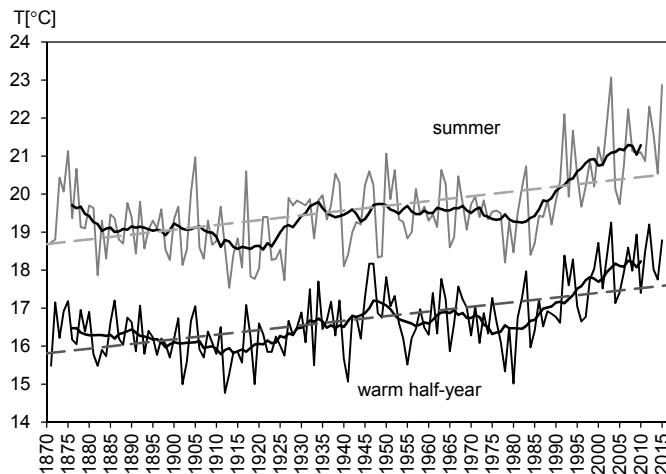


Figure 2. Absolute daily maximum air temperature in the warm half-year (April to September) at Hurbanovo in two periods 1961–1990 and 1991–2015 by the SHMÚ data.

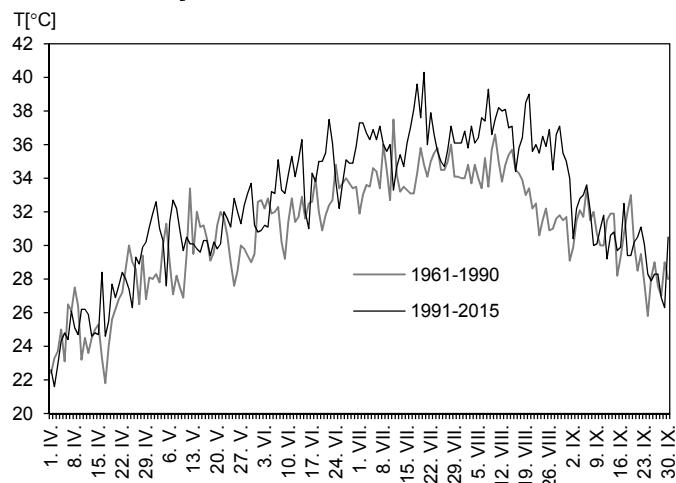
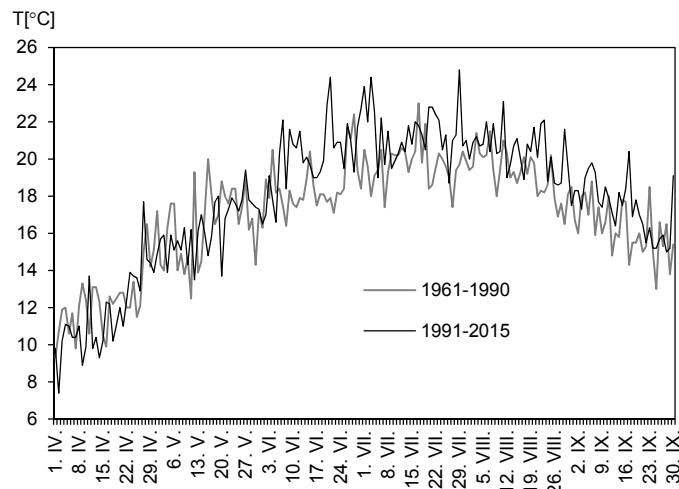


Figure 3. Absolute maximum from daily air temperature minima in the warm half-year (April to September) at Hurbanovo in two periods 1961–1990 and 1991–2015 by the SHMÚ data.



Heat waves issues are frequently discussed also in the WMO (World Meteorological Organization) sessions. That is why a publication Heatwaves and Health (2015) was issued by the WMO. The heat waves are there generally divided into two groups: “From a physical meteorology perspective, two broad types of heatwave events may be identified. Dry heatwaves are often associated with stable periods of weather that bring clear skies and large inputs of solar radiation. Hot and dry conditions may also be accompanied by windy conditions, which can increase heat stress. Dry heatwaves usually occur in locations with a continental or Mediterranean climate or where air is warmed adiabatically. Moist heatwaves are characterized by very warm, oppressive, humid conditions throughout the day and night, often with nocturnal cloud cover, a feature that prevents loss of heat accumulated throughout the day and thus little night-time relief. Such heatwaves are often a feature of mid-latitude temperate and maritime climates and may be endemic to some regions”.

It means that the simple temperature based definition of heat waves is usually not fully sufficient for the practical use. Wind speed and air humidity play very important role there. For example the NOAA Heat Index definition (2016) is based on air temperature and relative humidity (RH) and four categories: 1) Caution (up to $32^{\circ}\text{C} + 40\% \text{ RH}$ and $27^{\circ}\text{C} + 100\% \text{ RH}$); 2) Extreme caution (up to $36^{\circ}\text{C} + 40\% \text{ RH}$ and $28^{\circ}\text{C} + 100\% \text{ RH}$); 3) Danger (up to $41^{\circ}\text{C} + 40\% \text{ RH}$ and $31^{\circ}\text{C} + 100\% \text{ RH}$) and 4) Extreme danger (from $42^{\circ}\text{C} + 40\% \text{ RH}$ and $32^{\circ}\text{C} + 100\% \text{ RH}$). In some countries (also in Slovakia) the sultriness conditions (events) are considered as water vapor pressure (VP) values above 18.7 hPa (correspond to $20^{\circ}\text{C} + 80\% \text{ RH}$ and $35^{\circ}\text{C} + 33\% \text{ RH}$), somewhere also strong sultriness conditions (events) with VP above 24.0 hPa (correspond to $25^{\circ}\text{C} + 75\% \text{ RH}$ and $40^{\circ}\text{C} + 32\% \text{ RH}$), more information can be found in Climatic and Phenological Conditions (1966, 1968, 1972), Lapin and Šťastný (2006).

Occurrence, duration and intensity of heat waves was investigated mostly using temperature indices only. Regarding the methodological approach there is no one objective and uniform definition of heat wave. Following Klein Tank et al. (2009) we can divide extreme temperature indicators into four categories: percentile-based, duration-based, threshold-based, and absolute value-based. Authors prefer usage of the indices based on percentiles, since being site specific, for spatial comparisons. Spinioni et al. (2015) five or more consecutive warm nights (days) define a night-time (daytime) heat wave, i.e. it occurs whenever T_{Min} (T_{Max}) is above the 90th percentile for at least five consecutive days. This study was carried out for every grid point of the Carpathian basin region and time interval between 1961 and 2010. Della-Marta et al. (2007)

used the percentile-based temperature indices also for June-August season, 95th percentile of DSMT (Daily Summer Maximum Temperature) for west Europe since 1980. Kyselý et al. (2010) used threshold-based method for daily maximum air temperature (T_{Max}) for study of heat waves in central Europe. The criteria with two thresholds were applied. A heat wave was defined as a continuous period during which (1) T_{Max} is higher than T_1 in at least 3 days; (2) mean T_{Max} over the whole period is higher than T_1 ; and (3) T_{Max} does not drop below T_2 . The threshold values were set to $T_1=30^{\circ}\text{C}$ and $T_2=25^{\circ}\text{C}$. For the territory of Austria Nemeč et al. (2013) used for heat waves investigation a “peak-over-threshold” method with tropical nights, in addition for daily T_{Max} so-called “block-maximum” method. Here 10th and 90th percentiles were calculated for a 5-day window centred on each calendar day within a defined base period. Finally, duration index (warm spells duration index WSDI) was used for periods of persistent warmth for 1948 – 2009. Similar WSDI index used Unkašević and Tošić (2015) for Serbia in period 1949 to 2012. The intensity of heat waves was measured in terms of the cumulative T_{Max} excess above percentile thresholds. Schevchenko et al (2014) used definition of heat wave as a period of more than 5 consecutive days with $T_{Max} \geq 5^{\circ}\text{C}$ above the mean daily T_{Max} for the normal climatic period 1961 – 1990 and summer months June to August. Number of 13 meteorological stations in Ukraine for the period 1951 – 2011 was used in this study.

In the presented paper only heat waves and extreme warm events occurrence based on air temperature are analyzed and presented in a brief form. From about 35 stations with complete measurements in 1951 – 2015 we selected seven for elaboration in the presented paper: Hurbanovo (115 m a.s.l., lowland in SW Slovakia), Bratislava Airport (131 m a.s.l., lowland in SW Slovakia), Bratislava Koliba (286 m a.s.l., hill in SW Slovakia), Piešťany (165 m a.s.l., valley in SW Slovakia), Košice (230 m a.s.l., hollow in E Slovakia), Milhostov (105 m a.s.l., lowland in E Slovakia) and Poprad (695 m a.s.l., hollow in NE Slovakia). Temperature + humidity heat waves and events (including synoptic conditions) analyses will be published in some of the next our papers.

METHOD OF ANALYSIS

Characteristic days of the warm season in Slovakia have been elaborated and presented in many papers and monographs mainly since 1951 when measured data from the 1901 – 1950, 1931 – 1960, 1951 – 1980 and 1961 – 1990 were elaborated, analyzed and presented. Because of occurrence in the majority of Slovakia predominantly the summer days and tropical days (with daily maximum $\geq 25^{\circ}\text{C}$ and $\geq 30^{\circ}\text{C}$) were important (Climatic Conditions of Hurbanovo, 1960, Climatic and Phenological Conditions, 1966, 1968, 1972, etc.). In the mentioned monographs the method of climatic classification was presented with the definition of warm region in Slovakia having more than 50 summer days an-

nually as long term average. In Climatic Conditions of Hurbanovo (1960) it was mentioned that the tropical nights (with minimum temperature $\geq 20^{\circ}\text{C}$) are very rare, about 1.0 day annually as long term average (only in June, July and August). Heat waves were not defined and elaborated for Slovakia in any published paper (brief analysis was included in the paper by Lapin and Šťastný, 2006). In Hungary an extremely hot day “forró nap” is defined as day with maximum temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$ (Hungarian Meteorological Service, 2016), in other central European countries only tropical day with maximum $\geq 30^{\circ}\text{C}$ and summer day with maximum $\geq 25^{\circ}\text{C}$ were elaborated regularly (e.g. Climatic Atlas of Czechia, 2007), in Czech Republic (and also in some other countries) the heat wave was defined as several day spell with daily maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (e.g. Klein Tank et al., 2009; Kyselý et al., 2010). Variability of extreme temperatures and extreme weather was analyzed also by Fischer et al. (2012) and Frich et al. (2002).

In our elaboration we decided to define characteristic days in the warm half-year more detail as follows:

- Summer day (SD), Tropical day (TD) and Supertropical day (STD) are events with maximum daily temperature ($SD \geq 25^{\circ}\text{C}$, $TD \geq 30^{\circ}\text{C}$ and $STD \geq 35^{\circ}\text{C}$) measured from 21st h of previous day to 21st h of given day.
- Summer night (SN), Tropical night (TN) and Supertropical night (STN) are events with minimum nocturnal temperature ($SN \geq 15^{\circ}\text{C}$, $TN \geq 20^{\circ}\text{C}$ and $STN \geq 25^{\circ}\text{C}$) measured from 21st h of previous day to 7th h of given day (all at MLT – mean local time). The term supertropical was selected because of used in Slovakia unofficially since 2012 and because of used in connection with supercella, supersaturation, supertyphoon etc.).
- Heat wave is defined here as an event (5-days' or longer) with everyday maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$ and at least one day with maximum temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$ anywhere in Slovakia.
- Heat wave is also an event (5-days' or longer) with everyday mean temperature $T_{m1} \geq 23^{\circ}\text{C}$ and at least one day with mean temperature $T_{m2} \geq 27^{\circ}\text{C}$ anywhere in Slovakia (mean temperature is calculated as $T_m = (T_7 + T_{14} + 2.T_{21})/4$ as used in Slovakia). The values $T_{m1} = 23^{\circ}\text{C}$ and $T_{m2} = 27^{\circ}\text{C}$ have been selected as approximately T_{m1} = upper quartile (75% of distribution) and T_{m2} = upper two percentile (98% of distribution) at the Hurbanovo station in the period 1951 – 2000 (one of the warmest site in Slovakia). The upper quartile is also upper limit of normal interval and upper two percentile is a limit of extraordinary high mean temperature in top summer season. In case of heat wave occurrence at least at one station in Slovakia also other sites have heat waves as well unless do not meet the definition mentioned above. It is obvious that combined temperature + humidity definition of heat wave is more suitable. We will elaborate this later.

RESULTS AND DISCUSSION

As seen above the development in heat waves occurrence and characteristic days for summer and warm half-year season is ascending. Increase of mean air temperature results also in rise of heat waves number and severity. Simple definition of heat waves (Figs. 4 and 5) has shown after elaboration dramatic increase of such ≥ 5 -days events mainly since 1992. The period 1951–1991 had probably similar number of such heat waves as any previous longer period in 1801–1950. The number of days with high maximum temperature like summer and tropical ones is in the period 1992–2015 twice or more higher than before 1992, supertropical days occurrence seems regular since 1992 in comparison with rare occurrence before. Newly defined summer nights and supertropical nights bring wider possibility of warmer climate evaluation. Summer nights with the lowest night temperature $\geq 15^{\circ}\text{C}$ were regular also before 1992, but only in the southern Slovak lowlands and in larger cities below 250 m a.s.l. Since 1992 such nights occur also in the mountains and valleys of northern Slovakia what enables to grow new plant species in the gardens and agricultural fields. The events with air temperature $\geq 15^{\circ}\text{C}$ are considered in Slovakia as growing conditions for thermophilic plant species. Supertropical nights (with nocturnal minimum temperature $\text{STN} \geq 25^{\circ}\text{C}$) occurrence is still very exceptional, but possible, mainly in Bratislava city center and in such localities as Kuchyňa Nový Dvor and Piešťany, i.e. lowland sites behind low mountain ridges in SW Slovakia. Annual maxima of nocturnal temperature minimum at Hurbanovo were very seldom above 22°C before 1992 (Fig. 9).

The difference between daily and nocturnal minimum air temperature follows from the fact that prior to the summer cold fronts passage usually significantly higher temperature occurs than after it. In case of morning cold front passage a drop of temperature by 5 to 10°C can happen. In such cases the nocturnal temperature minimum is much higher than the daily minimum from 7 h of MLT to 21 h of MLT (as it can be seen also from Figure 10 for Hurbanovo). The Hurbanovo site is specific also due to lower nocturnal minimum temperature than at the site round this town. In spite of this very high nocturnal minimum temperatures occurred in 2012, 2013 and 2015 there (24.4 , 24.8 and 24.5°C). In the same years above 25°C nocturnal minimum temperatures were measured in Bratislava center, Piešťany and Kuchyňa N.D. In 2013 there were 4 supertropical nights and in 2015 as much as 38 tropical nights somewhere in Slovakia. Table 1 shows significant increase of some characteristic days annual number in 1901–1950 and two consecutive periods 1961–1990 and 1991–2015 at Hurbanovo. Mainly increase of tropical nights

mean number by 252.4% and supertropical days by 661.5% is amazing.

Broader analysis based on elaboration of measured data from six lowland stations and one mountain hollow station (Poprad) in Slovakia is presented in the Tables 2–4 and Figures 11–12. It can be seen that Hurbanovo and Bratislava Koliba are the warmest stations in case of nocturnal minimum temperature, but the Piešťany station has more supertropical nights (5 in the 1996–2015 period, the highest nocturnal minimum was 27.3°C in 2013). In case of daily maximum temperature and the heat waves also the east Slovakia station Milhostov has comparable values as the warmest localities in southwestern Slovakia. The station Poprad is significantly colder (695 m a.s.l. altitude) but summer night's number increased nearly 3-times in 1996–2015 compared to 1971–1990 and mean tropical day's number increased to 4.7 in 1991–2015 compared to 1.0 in 1951–1980. Number of heat waves was very low in 1964–1991 (one 5-day period as a maximum in Slovakia), in 1992–2015 increased heat waves number nearly to 1.5 events annually and to 4 events as annual maximum in Hurbanovo and Milhostov. Also the severity of heat waves increased significantly. In 1961–1990 the annual maximum of tropical days was 13 and supertropical 4, while in 1991–2015 it was 38 and 22 resp.

Figure 5. Annual number of heat waves (No, 5 days with daily mean temperature $T \geq 23^{\circ}\text{C}$ at least and with one $T \geq 27^{\circ}\text{C}$ at least), annual number of $T \geq 23^{\circ}\text{C}$ (NoD) and $T \geq 27^{\circ}\text{C}$ (NE) in the selected heat waves at Hurbanovo in 1951–2015.

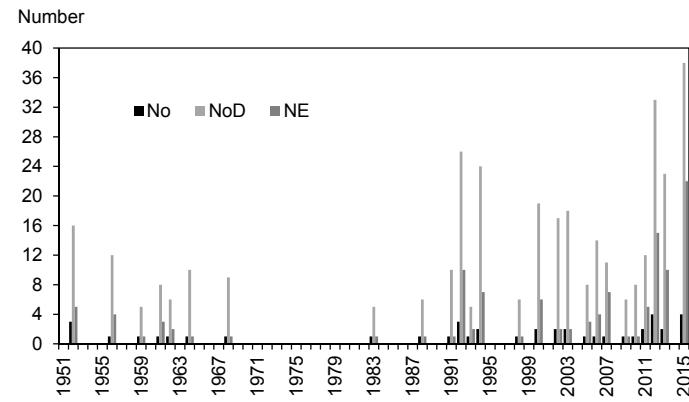


Figure 4. Annual number of heat waves (No, 5 days with daily maximum temperature TD $\geq 30^{\circ}\text{C}$ at least and with one STD $\geq 35^{\circ}\text{C}$ at least), annual number of TD $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (NoD) and STD $\geq 35^{\circ}\text{C}$ (NE) in the selected heat waves at Hurbanovo in 1951–2015.

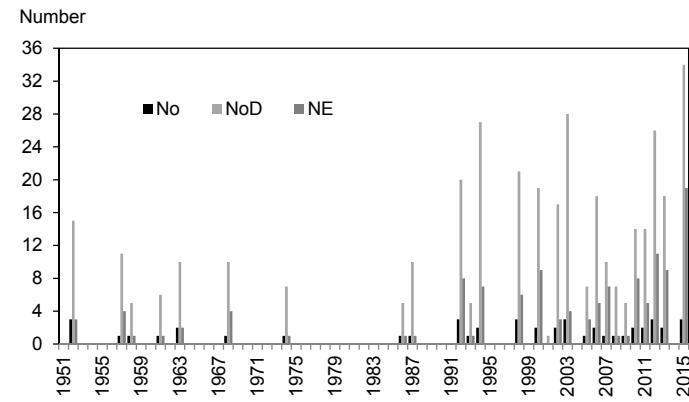


Figure 6.
Annual number of tropical days (TD - with daily maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$) and **annual number of supertropical days** (STD - with daily maximum temperature $\geq 35^{\circ}\text{C}$) at Hurbanovo in 1951–2015, power trendlines show significant increase of TD and STD occurrence.

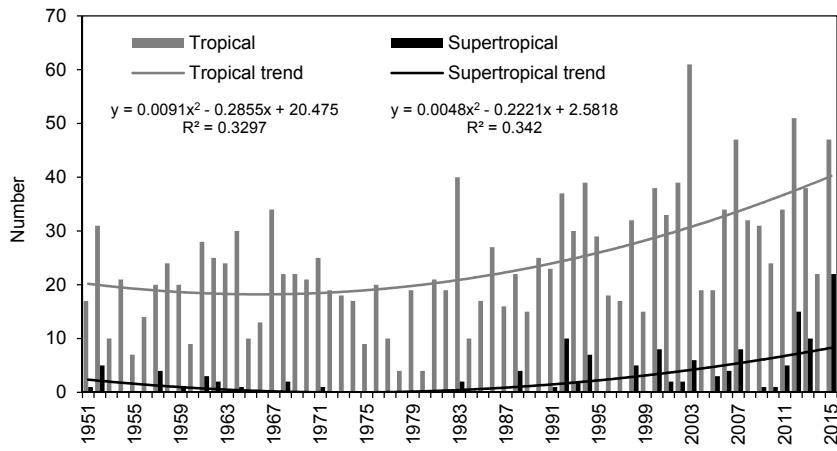


Figure 7.
Annual number of tropical days (TD - with daily maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$) and **annual number of summer days** (SD - with daily maximum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$) at Hurbanovo in 1951–2015, power trendlines show significant increase of TD and SD occurrence.

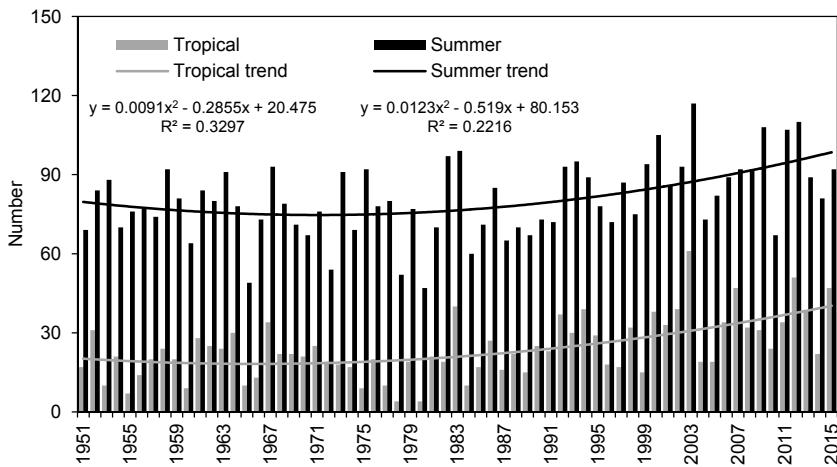


Figure 8.
Annual number of tropical nights (TN - with nocturnal minimum temperature $\geq 20^{\circ}\text{C}$) and **annual number of summer nights** (SN - with nocturnal minimum temperature $\geq 15^{\circ}\text{C}$) at Hurbanovo in 1971–2015, linear trendlines show significant increase of TN and SN occurrence.

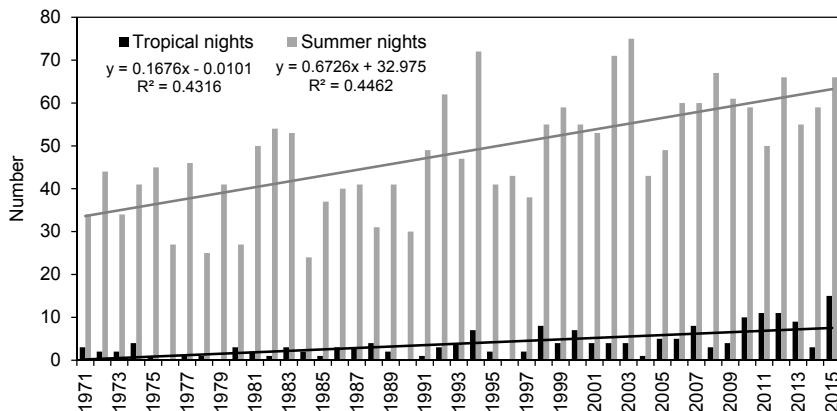


Figure 9.
Annual maximum from nocturnal (from 21 h of MLT to 7 h of MLT) air temperature minimum at Hurbanovo in 1971–2015.

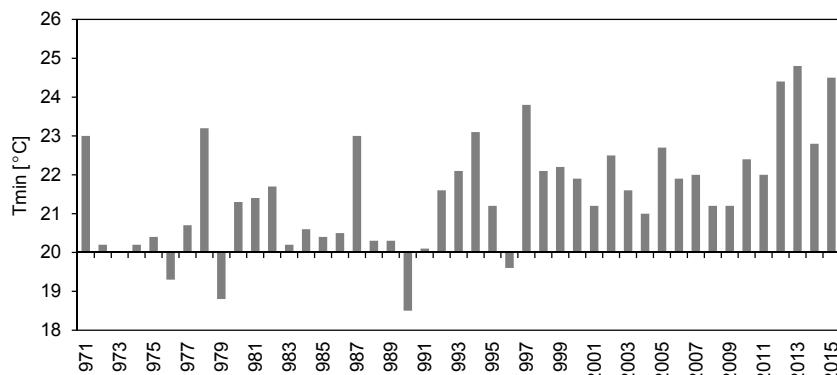


Figure 10.
Difference between annual maxima of nocturnal (21 h of MLT to 7 h of MLT) and daily (21 h of MLT to 21 h of MLT) temperature minimum, difference between summer and tropical nights annual number based on nocturnal and daily minimum of temperature at Hurbanovo in 1971–2015.

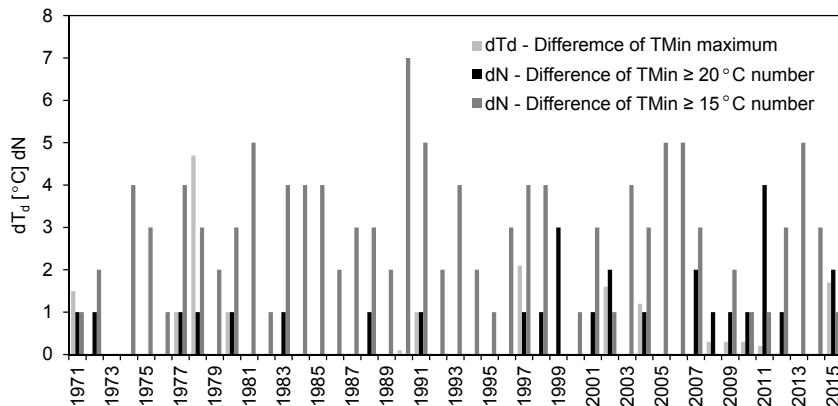


Figure 11.
Annual number of tropical days (TD - with daily maximum temperature $T_{Max} \geq 30^{\circ}C$) at selected stations in 1951–2015, Ba = Bratislava.

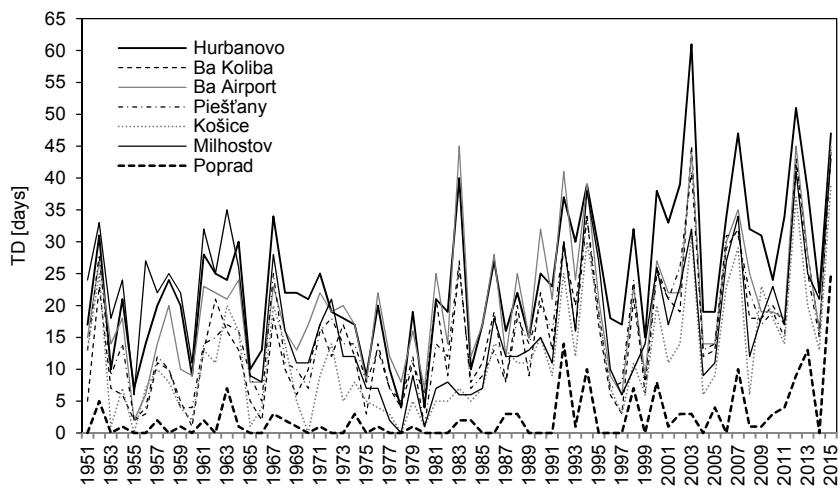


Figure 12.
Annual number of summer nights (SN - with nocturnal minimum temperature $T_{Min} \geq 15^{\circ}C$) at selected stations in 1951–2015, Ba = Bratislava.

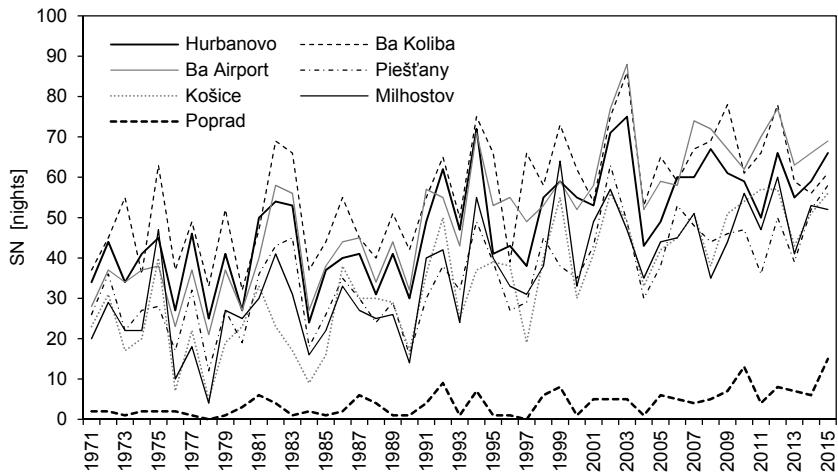


Table 1.
Mean April–September air temperature and mean number of characteristic days at Hurbanovo in three periods according to evaluation of daily minimum and daily maximum air temperature in two m heights and time from 21st to 21st h of MLT and % of days in 1991–2015 compared to 1961–1990 (N – no information, % – calculated from not rounded values).

	Description	1901–1950	1961–1990	1991–2015	%
Mean temperature	Apr.–Sept. [°C]	16.4	16.7	17.9	
Supertropical days	$T_{Max} \geq 35^{\circ}C$	N	0.5	4.3	861.5
Tropical days	$T_{Max} \geq 30^{\circ}C$	14.8	19.5	32.1	164.2
Summer days	$T_{Max} \geq 25^{\circ}C$	67.8	74.6	88.9	119.1
Icy days	$T_{Max} \leq 0^{\circ}C$	25.5	22.7	17.5	77.3
Arctic days	$T_{Max} \leq -10^{\circ}C$	0.9	0.3	0	
Tropical nights	$T_{Min} \geq 20^{\circ}C$	1.0	1.2	4.3	352.4
Summer nights	$T_{Min} \geq 15^{\circ}C$	N	34.8	52.8	151.6
Frosty days	$T_{Min} < 0^{\circ}C$	96.7	94.2	84.2	89.4
Days with strong frost	$T_{Min} < -10^{\circ}C$	14.2	10.6	7.0	65.5

Table 2.
Mean annual maximum and absolute maximum of nocturnal minimum temperature at 4 stations in SW Slovakia (Ba = Bratislava) and 3 stations in E Slovakia, in 20-year periods 1971–1990, 1991–2010 and 1996–2015 (D1 and D2 are differences between the periods 1991–2010 and 1971–1990, 1996–2015 and 1971–1990 resp.).

	20-year mean annual maximum in nocturnal minimum T					Absolute maximum in nocturnal minimum T		
	1971–1990	1991–2010	1996–2015	D1	D2	1971–1990	1991–2010	1996–2015
Hurbanovo	20.70	21.77	22.29	1.07	1.59	23.2	23.8	24.8
Piešťany	20.79	22.04	22.84	1.25	2.06	23.5	26.0	27.3
Ba Airport	20.37	21.54	21.88	1.17	1.52	22.4	23.2	25.6
Ba Koliba	21.00	22.17	22.40	1.16	1.39	23.8	23.6	25.1
Košice	18.89	20.18	20.64	1.29	1.75	20.5	22.9	22.9
Milhostov	18.72	20.35	20.47	1.63	1.75	20.5	24.4	24.4
Poprad	15.81	16.82	17.08	1.01	1.27	17.2	18.8	19.2

Table 3.
Total number of supertropical, tropical and summer nights with nocturnal temperature minimum $T_{Min} \geq 25^{\circ}\text{C}$, $T_{Min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ and $T_{Min} \geq 15^{\circ}\text{C}$ at 4 stations in SW Slovakia (Ba = Bratislava) and 3 stations in E Slovakia, in 20-year periods 1971–1990, 1991–2010 and 1996–2015 and deviations (D) from the method based on daily minimum temperature (from 21 to 21 h of MLT).

	20-year number of supertropical nights			20-year number of tropical nights			20-year number of summer nights		
	1971–1990	1991–2010	1996–2015	1971–1990	1991–2010	1996–2015	1971–1990	1991–2010	1996–2015
	0	0	0	38	86	118	765	1119	1144
Hurbanovo	0	0	0	24	42	57	548	823	870
Piešťany	0	2	5	25	82	115	737	1214	1280
Ba Airport	0	0	1	57	146	168	935	1276	1285
Ba Koliba	0	0	1	7	29	44	449	829	906
Košice	0	0	0	4	27	33	489	863	915
Milhostov	0	0	0	0	0	0	44	94	112
Poprad	0	0	0	D supertropical nights			D tropical nights		
Hurbanovo	-	-	-	+7	+15	+21	+58	+53	+52
Piešťany	-	+2	+2	+8	+12	+15	+71	+72	+66
Ba Airport	-	-	+1	+8	+16	+20	+64	+53	+52
Ba Koliba	-	-	+1	+5	+19	+19	+65	+71	+73
Košice	-	-	-	+1	+9	+11	+34	+45	+49
Milhostov	-	-	-	+1	+6	+7	+41	+47	+45
Poprad	-	-	-	-	-	-	+15	+21	+21

Table 4.
Mean and maximum annual number of heat waves (HW), tropical days during HW and supertropical days during HW (at least 5 days with $T_{Max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ and one day with $T_{Max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ for one HW) at 4 stations in SW Slovakia (Ba = Bratislava) and 3 stations in E Slovakia, in the periods 1951–1980, 1961–1990 and 1991–2015.

	Mean number of heat waves (HW)			Mean number of tropical days in HW			Mean number of supertropical days in HW		
	1951–1980	1961–1990	1991–2015	1951–1980	1961–1990	1991–2015	1951–1980	1961–1990	1991–2015
	0.30	0.20	1.24	2.20	1.47	11.12	0.57	0.30	3.96
Hurbanovo	0.13	0.03	0.56	0.77	0.23	5.56	0.23	0.03	2.24
Piešťany	0.23	0.20	0.76	1.73	1.43	7.36	0.43	0.27	2.64
Ba Airport	0.13	0.07	0.68	0.77	0.40	6.04	0.27	0.10	2.40
Ba Koliba	0.10	0.07	0.32	0.57	0.37	3.04	0.17	0.07	1.08
Košice	0.33	0.13	0.56	2.10	0.83	4.80	0.67	0.30	2.16
Milhostov	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poprad	Maximum of annual heat waves (HW)			Maximum of annual tropical days in HW			Maximum number of supertropical days in HW		
Hurbanovo	3	1	4	16	10	38	5	3	22
Piešťany	2	1	3	10	7	32	4	1	17
Ba Airport	2	1	3	11	9	32	4	2	16
Ba Koliba	1	1	3	7	7	31	3	2	16
Košice	1	1	2	6	6	18	3	1	8
Milhostov	2	2	4	14	13	31	5	4	18
Poprad	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CONCLUSIONS

Exceptional weather events are in the center of interest anywhere in the world. Weather in Slovakia is very variable, so some apparent weather extremes occur frequently. Considering statistical definition of exceptional climatic events (probability $p \leq 0.02$) most of such apparent extremes are not exceptional, but quite common with probability of occurrence (or average return period) more frequently than once in 50 years. Another accession is a calculation of significant climatic values and number of days, like those presented in this paper. General people like simple information on significant weather with understandable terms. We assume such terms as summer days (nights), tropical days (nights) and supertropical days (nights) as very sui-

table for such purpose. These characteristic days and nights can be accompanied also with another exceptional weather events (drought, heatwave, heavy rain, thunderstorm, tornado, windstorm...), because of high specific air humidity or high saturation deficit and good thermodynamic condition for origination of such weather events.

The purpose of this paper is not only to define characteristic days and events but also to analyze their temporal changes, mainly trends in the epoch of climate change. As mentioned in the paper introduction the mean temperature increased in Slovakia by about 2°C during the last 135 years, but by the same rate also since 1985 (in spite of short period analyzed). Rapid increase of mean air temperature conditions results also in rapid increase of such characteristic days like tropical and supertropical days and

nights. As seen in Table 1 the increase of tropical days was by 64.2% and supertropical days by 761.5% in 1991–2015 compared to normal period 1961–1990. Nearly the same was also at tropical nights (increase by 252.4%) and at summer nights (increase by 51.6%). It seems that the characteristics in two previous normal periods 1931–1960 and 1961–1990 are nearly the same (the newer normal period is slightly warmer). We expect that the new normal period 1991–2020 will bring serious increase also in annual mean and maximum number of days and nights with significant high temperature, at some stations also more than 4-times.

Acknowledgement

Results from the projects APVV-0303-11 and APVV-0089-12 were applied. The authors also thank the Slovak Hydrometeorological Institute for data.

REFERENCES

- Climatic Atlas of Czechia*, 2007, R. Tolasz, chief Ed., Czech Hydrometeorological Institute, Prague, 256 pp. (in Czech and English).
- Climatic Conditions of Hurbanovo*, 1960, Š. Petrovič, Ed., Hydrometeorological institute, Prague, 280 pp. (in Slovak).
- Climatic and Phenological Conditions in three Slovak Regions*, 1966, 1968, 1972: Š. Petrovič, Ed., Hydrometeorological Institute, Prague and Bratislava, 276, 344 and 432 pp. (in Slovak).
- Della-Marta, P.M.–Haylock, M.R.–Luterbacher, J.–Wanner, H., 2007, Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research* Vol. 112 (11 pp), D15103, doi:10.1029/2007JD008510.
- Fischer, E.M.–Rajczak, J.–Schär, C., 2012, Changes in European summer temperature variability revisited. *Geophysical Research Letters* 39, L19702, doi: 10.1029/2012GL052730.
- Frich, A.L.V.–Alexander, P.–Della-Marta, B.–Gleason, M.–Haylock, A.M.G.–Klein Tank–Peterson, T., 2002, Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century (PDF). *Climate Research* 19: 193–212.
- Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*. G.R. McGregor, lead editor, P. Bessemoulin, K. Ebi and B. Menne, editors. WMO-No. 1142, 2015, 114 pp., ISBN 978-92-63-11142-5.
- Hungarian Meteorological Service, Evaluation of extreme climate indices* (access in 2016): <http://www.met.hu/en/omsz/tevekenysegek/klimamodellezes/szelsosegek/>
- Klein Tank A.M.G.–Zwiers F.W.–Zhang Z., 2009, Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring*. WCDMP-No. 72, WMO-TD No. 1500, World Meteorological Organization Publication Board, Geneva, Switzerland, 56 pp.
- Kysely, J., 2010, Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? *International Journal of Climatology* 30: 89–109.
- Lapin, M.–Šťastný, P., 2006, Climate change and its possible impacts in Slovakia. In: *Impacts and Responses in Central and Eastern European Countries*. Budapest, Hungarian Academy of Sciences, 184–195, ISBN 963-508-519-2.
- Nemec, J.–Gruber, C.–Chimani, B.–Auer, I., 2013, Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenised dataset. *International Journal of Climatology* 33: 1538–1550.
- NOAA ‘Heat Index’ US National Weather Service (access in 2016): <http://www.srh.noaa.gov/ama/?n=heatindex>
- Robinson, P.J., 2001, On the Definition of a Heat Wave. *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, 40 (4), 762–775. ISSN 1520-0450.
- Shevchenko, O.–Lee, H.–Snizhko, S.–Mayer, H., 2014, Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology* 34: 1642–1650.
- 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: 4197–4209.
- The NOAA Heat Index (access in 2016): https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_index
- Unkašević, M.–Tošić, I., 2015, Seasonal analysis of cold and heat waves in Serbia during the period 1949–2012. *Theoretical and Applied Climatology* 120: 29–40.

ANALYSIS OF THE CENTRAL EUROPEAN SEVERE STORMS USING T-RE PLOTS DERIVED FROM MSG DATA

MICHAL POKORNÝ, MICHAL ŽÁK

Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Department of Atmospheric Physic,
Czech Republic, mich.pok@seznam.cz

The analysis of plots of temperature (T) versus the effective radius (re) of cloud particles shows the vertical distribution of the effective particle size in clouds. The plots are computed and constructed from the satellite retrieved data and show graphically the distribution of cloud particle size focused on convective clouds and convective storms subsequently. The particle size is related to the updraft strength inside convective clouds and storms developing within the target area and indirectly represents the severity of the developing storms. This special technique of severe storm analysis and forecasting, developed by Rosenfeld et al. was tested in several countries around the world. Forecasting and predicting dangerous phenomena such as hailstorms or tornados that occur in severe storms is the main objective of the technique. This nowcasting tool is now being tested also in Central Europe. The basic description of the theory is presented in this paper including the results of our research. Several typical severe storms events in the Czech Republic and its vicinity are selected and described. Furthermore this paper discusses the possible benefits of this method for the Czech Weather Service what could be useful for Slovak Weather service as well.

Analýza diagramů teploty (T) a efektivního poloměru oblažných částic (re) poskytuje informaci o vertikálním rozložení velikosti oblažných částic v uživatelem vybrané oblasti. Tyto diagramy jsou sestaveny na základě družicových dat a grafickou formou pomáhají odhalit velikost oblažných částic v různých hladinách oblažnosti se zaměřením na konvekční oblažnost a zejména konvekční bouře. Velikost oblažných částic je závislá na rychlosti a síle updraftu v oblažnosti a nejdříve reprezentuje intenzitu vznikajících bouří. Tato zvláštní technika předpovědi a analýzy konvekčních bouří, vyvinutá Rosenfeldem a kol., byla již testována v několika zemích v různých částech světa. Hlavním úkolem při testování této techniky ve střední Evropě bylo předpovídání nebezpečných doprovodných jevů konvekčních bouří, jako jsou kroupy, tornáda apod. Tento článek představuje základní popis výchozí teorie použití T - re diagramů a také výsledky našeho výzkumu. Popsány jsou některé typické silné bouře z oblasti České republiky a jejího okolí. Zmíněny jsou také některé potenciální výhody použití této metody při operativní službě české, ale i slovenské meteorologické služby.

Keywords: *T-re plot, severe storm, cloud particles, satellite observation*

INTRODUCTION

Severe convective storms occur over Central Europe mostly in warm season and it seems they are becoming more frequent every year (Tolasz et al., 2007; <http://report.bourky.cz/?page=search>). The attention paid to these events is growing because the accompanying phenomena represent a big hazard. Hail destroys property and causes damage worth millions of Euros around Europe. Another issue is the flash floods occurrence where the majority of flash flood producing rainfalls (over a relatively small area) is related to convection (Doswell, 1994). People have experienced local flash floods in Central Europe in the last years more frequently (Tolasz et al., 2007). These events usually last only a few hours or less which makes them particularly dangerous. Every year tornadoes are also spotted in Central Europe (e.g. <http://www.tornada-cz.cz/>, <http://www.tornada.cz/clanky/tornada-v-cesku/pardubice-tornado-21.6.2011/>). These events connected to convective storms have hit in the last few years also densely populated regions thus increasing their threat.

Furthermore, the increase of severe events is expected in the future (<http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2007020004>) so it is essential to be able to forecast the possible occurrence and impact of these events. There is an increasing need to issue ample warnings in case of danger to the population and infrastructure (Beswick et al., 2008).

The main feature (and also the main “problem” for forecasting) of convective storms is their rapid development. Such storms may move over large distances and variously change their structure. Specific criteria of severe storm identification had been well described and are usually based on weather radar observation (Visser, 2001). The weather radars in the Czech Republic are not currently (as of 2013) able to distinguish between small and large hail or tornadoes, only the maximum of the radar reflectivity can be detected in such intensive cases. Therefore it is necessary to identify an ongoing atmospheric convective process to be able to predict the severity of developing storm. Many methods based on updraft strength as a severity indicator have been developed (Visser, 2001) and it nowadays is possible to identify the severity of updrafts

with the help of satellite retrieved products. One of such products are the so called the *T-re* plots. These profiles express effective cloud particle radius (*re*) and its temperature (*T*) as the vertical coordinate (Rosenfeld and Lensky, 1998; Rosenfeld et al., 2008).

A nowcasting tool based on these plots has been tested for Central European region and described in this study. The main aim of this study is to improve the accuracy of nowcasting of severe storms to prevent damage and serious injuries. At this point, we would like to point out that for our purposes "nowcasting" is used to stress the fact that the predictions stand typically for less than few hours. This type of forecasts is especially important for aviation, the outdoor activities industry or ground transportation (Wilson et al., 1998).

ROSENFELD'S THEORY OF T-RE PLOTS

Daniel Rosenfeld (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University, Jerusalem, Israel) and Itamar Lensky (Department of Geography and Environment, Bar-Ilan University, Israel) introduced the technique of *T-re* profiles (*T* - particle temperature, *re* - particle effective radius what is a weighted mean of the size distribution of cloud droplets - the ratio of the third to the second moment of a droplet size distribution to aid in the inversion of remotely sensed data) in forecasting of severe storms and their accompanying attendant dangerous phenomena such as hail and tornadoes (Rosenfeld and Lensky, 1998). This technique was used in different projects (Rosenfeld et al. 2006, Rosenfeld et al. 2008, Rosenfeld et al. 2009) and tests were carried out and verified (Lensky and Rosenfeld 2005; Rosenfeld et al., 2006; Rosenfeld et al. 2009) in several countries, namely Israel, California, Texas, Brazil and in Africa. MSG (Meteosat Second Generation) satellite data was used in *T-re* profiles testing in Mediterranean Sea area (Lensky and Shiff, 2007). MSG data enable tracking the cloud particles effective radius evolution with the cloud top temperature by the *T-re* method in Central Europe too. The method of *T-re* profiles has never been thoroughly tested in Europe. But because it works with MSG data, it can be used as a new nowcasting tool in Central Europe area as well as in the field of dangerous weather event forecasting and other meteorological applications. It was therefore decided to test this tool in Central European conditions. Based on good results in several testing processes (Rosenfeld et al. 2009) it is expected to be confirmed as a new simple auxiliary forecasting tool in the region of Europe. Its simplicity lies in MSG_RGB software which was developed especially for *T-re* profiles view. All calculations run on the background of the program and *T-re* diagrams are shown as a plot based on several specifications defined in MSG_RGB software. Therefore these plots are analyzed in the forecasting tool and no additional calculations are needed.

For severe storm forecasting the convective available potential energy (CAPE) together with wind shear in the lower troposphere are frequently used. Updraft as a measure of current ongoing convective processes however plays a crucial role in the identification of cells that are prone to develop into severe storm (Rosenfeld et al., 2008).

The updraft speed is the basic indicator of severe storms and their dangerous attendant phenomena occurrence. The updraft speed and subsequently the storm severity is forecasted with the help of *T-re* profiles, their shape, steepness and some of their other specific features.

Precipitation falls from both stratiform and convective clouds. The vertical updraft speed in clouds is the main factor in distinguishing between these two cloud types. In stratiform clouds the ascending air speed is low and the cloud particles usually grow to larger sizes already at lower levels. In convective clouds the particles have to overcome the updraft strength to fall out of the cloud to become precipitation (Tokay and Short, 1996). Severe precipitation and winds occur in convective systems due to the updraft motion. The small scale and short life time of storms and updrafts are very difficult to track (Shiqiang and Zhemin, 2001).

Taking this into account Rosenfeld designed his conceptual model of microphysical characteristic of severe storm cloud. It represents the vertical composition of effective cloud particle radius influenced by the updraft speed (Rosenfeld et al., 2008). Graphs of this dependence help to determine the updraft strength inside clouds and subsequently estimate the storm severity.

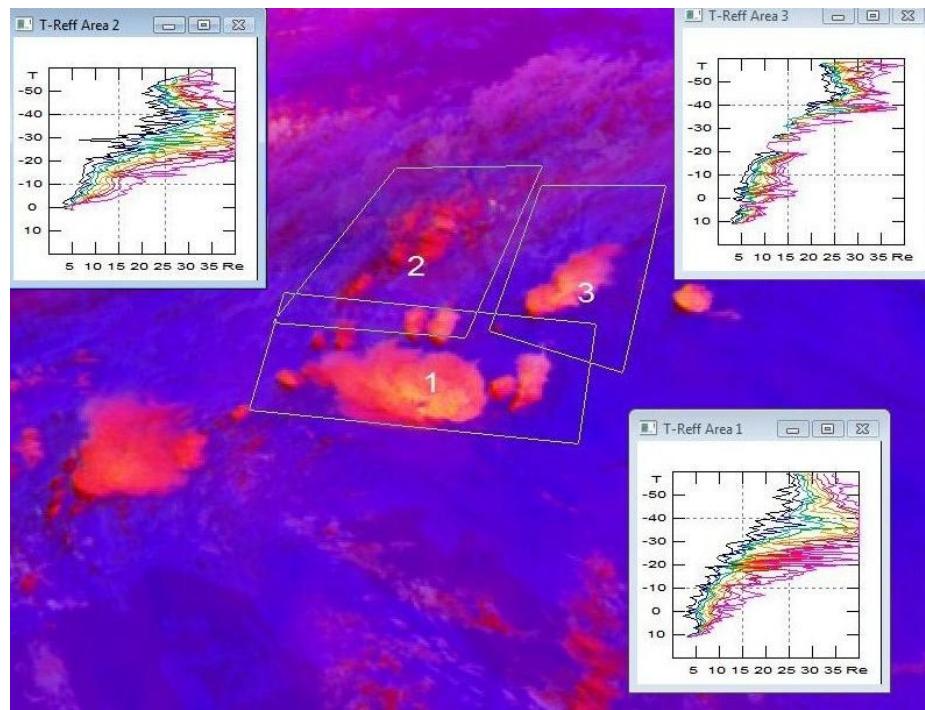
The role of updraft strength is explained as follows. The higher speed of the updraft delays the cloud particles growth to larger sizes and postpones their glaciation. In other words when there is a strong updraft in the clouds the particles do not have enough time to grow to larger sizes because they ascend through the cloud very fast upwards. *T-re* profiles obtained and computed by the MSG_RGB software from satellite data reflect indirectly the updraft speed in rapidly growing convective clouds. In case of a vigorous convection these plots usually show only small particles near the cloud tops of relevant cumulonimbus clouds. When updrafts are very intense, the crystals do not form in the region of heterogeneous nucleation and the majority is formed by a homogeneous nucleation above the freezing level. For this reason the size of the crystals in the cloud top is smaller.

For analyzing the cloud top temperature and cloud particles effective radius in this work the MSG data and generated *T-re* plots are used for the area of Central Europe. These graphs show some features useful for severe weather nowcasting. It should be mentioned that the evolution of the cloud top effective radius (*re*) with the cloud top temperature (*T*) or height for a group of clouds at a specific time and location is similar to *T-re* evolution of each cloud in this specific location. The effective radius of particles near the cloud top is similar to that inside other clouds at the same height. This rule is valid before precipitation starts to fall through these clouds. For deeper description of the microphysical processes used in development of this theory see e.g. (Lensky and Rosenfeld, 2005).

Acquired *T-re* plot of a convective cloud area is stable in time according to Rosenfeld and Lensky and depend mainly on the thermodynamic and aerosol properties of the air mass (Lensky and Rosenfeld, 2005). These assumptions make *T-re* plot usable for the whole selected area instead of tracking *T-re* relationship evolution for each cloud in the analyzed area. Cumulonimbus clouds have then in lower

Figure 1.
Analysis of the situation for
1627 UTC 12 June 2010.

Re [μm] – cloud particle radius,
 T [$^{\circ}\text{C}$] – temperature of cloud
particle,
Color lines (black to magenta)
in profiles are expressing
5th to 100th percentile
of effective particle radius
in the interval of 1 $^{\circ}\text{C}$.



levels nearly the same T - re relation as other convective clouds that did not reach the stage of Cb yet.

To complete the T - re plot application it is essential to add the fact that this plot is not only one isolated individual line but it is a full set of lines (Fig. 1) expressing 5th to 100th percentile of effective particle radius in the interval of 1 $^{\circ}\text{C}$ (Rosenfeld and Lensky, 1998). Usually the 15th percentile is analyzed since it represents the younger rapidly growing clouds at the given height (or temperature). Homogenous freezing threshold represents the temperature of -38°C and the particle radius size of 14 μm shows precipitation threshold (Rosenfeld and Lensky, 1998). This particle size (14 μm) represents a threshold value above which the clouds are filled by precipitation size particles and it is possible to detect them by weather radars (Rosenfeld and Lensky, 1998). These values are taken into account when analyzing the cloud plots in the given area. The shape and steepness of the 15th percentile line in T - re plot enable the analysis, while the position of the above described temperature and size is also a very important sign in the parsing and forecasting. There are some other values such as Tl (temperature of the top of the lower linear zone), Tg (temperature of the glaciation phase bottom) and their relations that are studied and help to find cloud areas tending to grow into severe storms. Altogether the shape of T - re diagrams shows multiple information about the cloud microphysics and microphysical processes inside clouds (Rosenfeld and Lensky, 1998). No additional computations have to be done after gaining a T - re profile to analyze the cloud development and forecast the storm severity. The MSG_RGB software provides multispectral information of MSG channels for generating the T - re profiles. At daytime two layers of 3.9 μm solar reflectance and effective radius are computed. An automatic correction for the CO₂ absorption is applied to the 3.9 μm solar reflectance by a correc-

tion tables. The 3.9 μm reflectance determinates the cloud particles size in generated profiles. Smaller cloud particles are revealed by a higher 3.9 μm reflectance. According to some studies it has been shown that smaller crystals are really effective reflectors near 3.9 μm (e.g. Melani et al., 2003). The major hypothesis assumes that such detection of cloud cells with the enhanced 3.9 μm reflectivity due to small cloud particles discloses rapidly developing thunderstorms with a high updraft speed inside the clouds. Lindsey et al. (2006) also confirms that a connection between 3.9 μm reflectivity and the updraft strength exists and it is used in some nowcasting techniques. The 3.9 μm reflectivity may therefore be interpreted as a direct function of the particle size, and thus also of the upward motion in clouds (Lindsey et al., 2006).

This paper gives a short overview of the basics of T - re analysis only. For more details see e.g. Rosenfeld et al., 2008.

DATA AND METHODS

T-re plot principles

As already mentioned above, tests of the T - re plots were carried out in several countries on different satellite data depending on location. Radar, radiosonde measurement and special cloud scanner aboard jet aircraft helped with the evaluation of the cloud microphysical constitution (Rosenfeld et al., 2006; Martins et al., 2007) gained by the T - re profiles.

The MSG_RGB software provided by its author Dr Lensky in 2009 uses multispectral information of MSG channels for generating the T - re plots. The 3.9 μm reflectance determinates the cloud particles size in generated plots. Smaller cloud particles are revealed by a higher 3.9 μm reflectance. According to some studies it has been

shown that smaller crystals are really effective reflectors near 3.9 μm (e.g. Melani et al., 2003). The major hypothesis assumes that such detection of cloud cells with the enhanced 3.9 μm reflectivity due to small cloud particles discloses rapidly developing thunderstorms with a high updraft speed inside the clouds. Lindsey also confirms that a connection between 3.9 reflectivity and the updraft strength exists and it is used in some nowcasting techniques (Lindsey et al., 2006). The 3.9 reflectivity may therefore be interpreted as a direct function of the particle size, and thus also of the upward motion in clouds (Lindsey et al., 2006).

Because of the 3.9 μm channel features (Setvák, 1989) the method is limited to daytime hours only, when the solar illumination is available. This is the main shortfall of this tool because many convective storms keep developing after sunset. Anyway the 3.9 μm channel features has an extremely useful role in severe weather forecasting (Lindsey et al., 2006).

The principles described above were tested on data from convective seasons for the Czech Republic and its vicinity on archive data provided by EUMETSAT and following that on real-time data in days when intensive accompanying phenomena of convective storms were reported or expected. These situations were selected and severity criteria were mainly based on European Severe Weather Database (ESWD) (<http://www.eswd.eu/>) operated by the ESSL (European Severe Storms Laboratory). ESWD provides an online clear description of severe weather events in general (http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?action=showdefinitions&lang=en_0) and the list of severe weather events reported.

At first sight, the obtained profiles are very similar to those from gained by Rosenfeld so this method seems to be applicable for severe storm nowcasting in the Czech Republic as well. It is however clear that the temperatures and particle sizes do not match exactly the values from the plots received in other countries because Central European conditions are partly different. For example the temperatures of cloud bases are usually lower in Central Europe in warm season and the cloud particles near the cloud base are slightly larger compared to profiles from the USA. This is the reason why we decided to test this method in the European environment and try to get specific *T-re* shapes for this region. For testing of this method and the subsequent description of acquired *T-re* plots, two main groups of storms were selected according to their severity. This selection is appropriate for distinguishing between severe and nonsevere situations. From the first group (severe), three severe situations were selected here for a deep analysis in the Central European region. Dangerous phenomena and the typical *T-re* features are described. The situations mostly include a low pressure area above Central Europe. That is a quite common synoptic situation favorable for convective storm development in this region. Analysis of these situations is shown on Figures 1 to 4 which are based on RGB Storm product obtained from EUMETSAT archive and MSG reception station (situated at the Dept. of Atmospheric Physics, Faculty of the Mathematics and Physics, Charles University in Prague) and processed in MSG_RGB software (Lensky, 2009).

Further, from the second group two typical nonsevere situations and profiles descriptions follow for a comparison of results with severe storm situations. A nonsevere situation means that thunderstorms developed without dangerous attendant phenomena classified according to ESWD. These situations represent the threshold state for nonsevere/severe situations. Any other weaker or less intensive storms revealed even shallower *T-re* plots with larger particles in lower levels and cloud tops not reaching any significantly high levels over 6 km - typically non-severe plots.

Data from *T-re* plots

The MSG_RGB analysis tool performs all calculations automatically and was developed to generate *T-re* plots for quick decision about storm severity. Additionally a table (Table 1) of tracked values of the *T-re* plots gained during selected severe and nonsevere situations was compiled. The values of the tracked features mentioned below can be simply obtained from the numerical listing provided by the MSG_RGB software. The output has a table form of temperatures (in 1°C step) and their corresponding radii. That can be very useful for further computations. Graphically, the values can be acquired from the generated *T-re* profiles enabled by high resolution of *T-re* profiles. T_l or T_g are in fact the break points of the 15th percentile line in the profile. These values represent the vertical coordinate of 15th percentile line what makes them easy to be recognized in gained *T-re* profiles. The graphical output of *T-re* profiles is mostly used for the fast decision of the storm severity. The MSG_RGB software was designed to be as easy and fast as possible the main goal of it being to obtain *T-re* profiles for the selected area and quickly decide about the severity of the developing storm. The research revealed the fact that it is crucial to see the whole plot with all of its features to be able to create a forecast of severity of a developing storm. A stand-alone value such as T_l or T_g without knowing any other features of a *T-re* plot cannot provide any relevant information about developing storm to use in forecasting.

The table is sorted by the events as follows: TOR – tornado, GR – hail, +RA – heavy rain, LIGHT – damaging lightning, WIND – strong wind, FC – funnel cloud

The intensity of each event is mentioned when provided by sources (ESWD) in Table 1. Additional information about the date and place of the event is stated as well as the time of the forecast of severe event made according to analyzed plots. Analyzed features of *T-re* plots are provided as follows:

- $re \text{ } [\mu\text{m}]$ – cloud particle radius range from the cloud base to the cloud top,
- $re \text{ } base \text{ } [\mu\text{m}]$ – cloud particle radius range near the cloud base,
- $re \text{ } top \text{ } [\mu\text{m}]$ – cloud particle radius range near the cloud top,
- $T_l \text{ } [^\circ\text{C}]$ – temperature of the top of the lower linear part of the plot,
- $T_g \text{ } [^\circ\text{C}]$ – temperature of the glaciation phase bottom,
- $Tl4\mu\text{m} \text{ } [^\circ\text{C}]$ – temperature of level when particles reach the radius 14 μm .

Table 1. Reported severe weather events, nonsevere situations and analyzed values of re, Tl, Tg and T14 μm.

Date	Month	Country	Event	Other event	Intensity	Time of report [UTC]	Forecast of dangerous event [UTC]	re [μm]	re base [μm]	re top [μm]	Tl [°C]	Tg [°C]	T14μm [°C]
23 May 2005	5	PL	TOR	GR		1800	1300	6-38	6	38	-28.00	-38.00	-28.00
25 June 2006	6	D	TOR	GR	F1T3 - 3 km x 300 m, 1.5-3 cm	1630	1242	7-28	7	28	-28.00	-42.00	-28.00
21 June 2011	6	CZE	TOR		F1T3 - 9 km	1509	1342 (GR)	9-40	9	40	-20.00	-38.00	-15.00
23 July 2010	7	FR	TOR		0.5 km x 30 m	1600	1112	7-40	7	40	-25.00	-30.00	-30.00
23 July 2010	7	IT	TOR	GR	70 mm	1630	1042	6-40	6	40	-20.00	-30.00	-25.00
29 July 2013	7	CZE	TOR	RA	40 mm/h	after 2000	1157	6-36	6	36	-30.00	-40.00	-20.00
20 April 2012	4	CZE	GR		2 cm	1230	1230	6-33	6	33	-22.00	-30.00	-22.00
23 May 2005	5	A	GR		2 cm	1700	1300	6-39	6	39	-28.00	-38.00	-28.00
26 May 2007	5	D	GR		3 cm	1550	1212	6-33	6	33	-24.00	-40.00	-25.00
26 May 2007	5	PL	GR		3 cm	1600	1212	6-28	6	28	-35.00	-48.00	-35.00
22 May 2010	5	CZE	GR		0.5 mm	1100-1500	0757	8-40	8	40	-12.00	-32.00	-17.00
10 May 2011	5	D	GR	+RA		1935	1457	5-29	5	29	-32.00	-40.00	-28.00
20 May 2011	5	D	GR	+RA	60 mm/h, 2 cm	1400-1700	1557	7-38	7	38	-27.00	-35.00	-20.00
20 May 2011	5	PL	GR	+RA	2.5 cm	1400-1800	1457	7-38	7	38	-27.00	-35.00	-20.00
02 May 2012	5	D	GR		2.5 cm	1800	1142	5-32	5	32	-30.00	-38.00	-22.00
03 May 2012	5	PL	GR		2-3 cm	after 1100	0845	6-28	6	28	-28.00	-40.00	-28.00
04 May 2012	5	PL	GR	+RA	2 cm	after 1400	0715	6-38	6	38	-20.00	-32.00	-25.00
07 May 2013	5	PL	GR	+RA	3 cm	after 1400	0715	7-32	7	32	-25.00	-38.00	-29.00
08 May 2013	5	CZE	GR	+RA	33 mm/h, 3 cm	1350	1100	4-32	4	32	-36.00	-38.00	-28.00
08 May 2013	5	PL	GR		3 cm	after 1300	1100	4-32	4	32	-36.00	-38.00	-28.00
09 May 2013	5	PL	GR		3 cm	after 1500	0630	7-20	7	20	-15.00	-38.00	-20.00
25 June 2006	6	CZE	GR			1600	1242	7-35	7	35	-22.00	-40.00	-23.00
12 June 2010	6	PL	GR		3-10 cm	1840	1427	6-35	6	35	-29.00	-35.00	-29.00
30 June 2010	6	CZE	GR		0.2-1 cm	1330	1142	4-30	4	30	-25.00	-31.00	-27.00
30 June 2010	6	D	GR		3 cm	1500	1257	6-33	6	33	-15.00	-41.00	-25.00
30 June 2010	6	SVK	GR		2 cm		1257	5-33	5	33	-12.00	-36.00	-17.00
19 July 2007	7	D	GR	+RA	3 cm	1500	0804	7-32	7	32	-20.00	-38.00	-27.00
19 July 2007	7	CZE	GR			1800	1339	7-33	7	33	-25.00	-38.00	-27.00
19 July 2007	7	PL	GR			2000	1204	7-33	7	33	-25.00	-38.00	-27.00
01 July 2009	7	D	GR		2 cm	1446	1242	11-38	11.00	38	-12.00	-24.00	-12.00
01 July 2009	7	PL	GR		4 cm	1700	1242	11-38	11.00	38	-12.00	-24.00	-12.00
23 July 2010	7	SVK	GR		5-6 cm	1500-1600	1112	8-40	8	40	-20.00	-38.00	-23.00
23 July 2010	7	A	GR		5-6 cm	1500-1600	1027	6-40	6	40	-20.00	-30.00	-25.00
15 August 2010	8	CZE	GR		3-5 cm	1900	0927	6-35	6	35	-18.00	-38.00	-20.00
23 May 2005	5	CZE	+RA				1300	6-39	6	39	-27.00	-38.00	-28.00
27 May 2010	5	SVK+PL	+RA			1500-1700	1342	7-40	7	40	-24.00	-31.00	-27.00
20 May 2011	5	CZE	+RA			1400-1500	1357	7-38	7	38	-27.00	-35.00	-20.00
31 May 2011	5	CZE+A+D	+RA			after 2000	1442	6-33	6	33	-20.00	-31.00	-22.00
07 May 2013	5	CZE	+RA		20 mm/h	after 1500	0715	7-32	7	32	-25.00	-38.00	-29.00
09 May 2013	5	CZE	+RA		30 mm/h	after 1300	0630	7-20	7	20	-15.00	-38.00	-20.00
12 June 2010	6	CZE	+RA			1800	1427	6-35	6	35	-29.00	-35.00	-29.00
20 June 2013	6	CZE	+RA			2100	1515	6-38	6	38	-13.00	-30.00	-28.00
01 July 2009	7	D	+RA		60 mm/h and more	1425	1242	11-38	11.00	38	-12.00	-24.00	-12.00
15 August 2010	8	D	+RA		40 mm/h	after 1447	1057	6-35	6	35	-18.00	-38.00	-20.00
02 May 2012	5	CZE	LIGH			1750	1142	6-32	6	32	-30.00	-38.00	-22.00
12 June 2010	6	A	WIND		25 m/s	1830	1457	6-36	6	36	-16.00	-40.00	-22.00
19 July 2013	7	A	WIND		FOTO	1400-1600	1527	7-12	7	12	-12.00	-30.00	-15.00
27 May 2010	5	CZE	FC		50%	1730	1342	7-40	7	40	-24.00	-31.00	-27.00
01 July 2009	7	D	FC		40%	1627	1242	11-38	11.00	38	-12.00	-24.00	-12.00
01 July 2009	7	CZE	FC		50%	1700	1242	11-38	11.00	38	-12.00	-24.00	-12.00
09 August 2011	8	CZE	FC		35%	after 1900	8-40	8	40	-22.00			-22.00
Nonsevere situations													
23 April 2013	4	CZE						8-30	8	30	-25.00	-30.00	25.00
12 May 2013	5	CZE						9-40	9	40	-22.00		-24.00
05 June 2013	6	CZE						8-40	8	40	-15.00		-18.00
07 June 2013	6	CZE						10-40	10	40	-12.00	-31.00	-18.00
20 July 2013	7	CZE						8-18	8	18	-8.00		-10.00

CZE - Czech Republic, A - Austria, PL - Poland, D - Germany, SVK - Slovak Republic, FR - France, IT - Italy
 GR - hail, TOR - tornado, +RA - heavy rain, FC - funnel cloud, WIND - strong wind, LIGH - damaging lightning

The above mentioned features facilitate the analysis of a plot and a comparison of acquired T-re profiles with some reference profiles where available. The reference profiles shall be included in the training manual for performing the T-re analysis before implementing it for a weather office usage.

The cloud base particle radius provides the information about the starting point of the evolution of clouds. The smaller the cloud base particle radius is, the more severe event is to be expected, considering other cloud features such as Tl, Tg etc.

The cloud top particle radius on the other hand provides information about the size of particles in the highest

part of cloud. It helps to uncover the intensity of updraft reaching the cloud top. Smaller particles near the cloud top indicate stronger updraft pervading through the whole cloud cell. Large particles near the cloud top indicate a weakening of updraft in higher levels.

The temperature of the top of the lower linear part of the plot and the temperature of the glaciation phase bottom provide information about the severity of a developing storm in middle altitudes. The lower these temperatures are the more intensive phenomena are to be expected. A similar rule can be used with the difference of Tl and Tg. The smaller it is the more extreme events can be expected to develop in the storm.

Finally the temperature of the level when particles reach the radius of 14 μm is the temperature of precipitation threshold. Higher level of the particle radius of 14 μm (the lower the temperature is) indicates stronger updraft inside cloud. Indirectly it may be deduced that a more severe storm will develop.

As expected Table 1 shows that no single value (as Tl , Tg , etc.) can provide any relevant complete information about the severity of a developing storm. It however can show values from which the storm can be expected to be severe but there is no strict boundary in values between individual severe event values. This confirms the need for analyzing the $T\text{-}re$ plot as a whole to see all connections above and under a specific value in the plot.

Some basic statistical quantities were applied to the values of re_{base} [μm], re_{top} [μm], Tl [$^{\circ}\text{C}$], Tg [$^{\circ}\text{C}$] and $Tl_{14\mu\text{m}}$ [$^{\circ}\text{C}$]. The quantities are MEAN, MEDIAN, MODE, 10 % PERC. and 90 % PERC. for each severe weather event and they are presented in Table 2.

Table 2. Statistical values mean, median, mode, 10 % percentile and 90 % percentile for split weather events characteristics re at the cloud base, re at the cloud top, Tl , Tg and $Tl_{14\mu\text{m}}$.

Event	Statistics	re_{base} [μm]	re_{top} [μm]	Tl [$^{\circ}\text{C}$]	Tg [$^{\circ}\text{C}$]	$Tl_{14\mu\text{m}}$ [$^{\circ}\text{C}$]
TOR	MEAN	6.8	37.0	-25.2	-36.3	-24.3
TOR	MEDIAN	6.5	39.0	-26.5	-38.0	-26.5
TOR	MODE	6.0	40.0	-28.0	-38.0	-28.0
TOR	10 % PERC.	6.0	32.0	-29.0	-41.0	-29.0
TOR	90 % PERC.	8.0	40.0	-20.0	-30.0	-17.5
GR	MEAN	6.5	33.8	-23.3	-36.1	-23.9
GR	MEDIAN	6.0	33.0	-24.5	-38.0	-25.0
GR	MODE	6.0	33.0	-12.0	-38.0	-28.0
GR	10 % PERC.	4.7	28.7	-32.9	-40.0	-28.3
GR	90 % PERC.	8.0	39.3	-12.0	-30.0	-17.0
+RA	MEAN	6.9	34.8	-21.0	-33.8	-23.5
+RA	MEDIAN	6.5	36.5	-22.0	-35.0	-24.5
+RA	MODE	6.0	38.0	-27.0	-38.0	-20.0
+RA	10 % PERC.	6.0	30.8	-27.2	-38.0	-29.0
+RA	90 % PERC.	7.4	39.1	-12.9	-29.4	-19.2
LIGH	MEAN	6.0	32.0	-30.0	-38.0	-22.0
LIGH	MEDIAN	6.0	32.0	-30.0	-38.0	-22.0
LIGH	MODE					
LIGH	10 % PERC.	6.0	32.0	-30.0	-38.0	-22.0
LIGH	90 % PERC.	6.0	32.0	-30.0	-38.0	-22.0
WIND	MEAN	6.5	24.0	-14.0	-35.0	-18.5
WIND	MEDIAN	6.5	24.0	-14.0	-35.0	-18.5
WIND	MODE					
WIND	10 % PERC.	6.1	14.4	-15.6	-39.0	-21.3
WIND	90 % PERC.	6.9	33.6	-12.4	-31.0	-15.7
FC	MEAN	9.3	39.0	17.5	-26.3	18.3
FC	MEDIAN	9.5	39.0	17.0	-24.0	17.0
FC	MODE	11.0	40.0	-12.0	-24.0	12.0
FC	10 % PERC.	7.3	38.0	23.4	-29.6	25.5
FC	90 % PERC.	11.0	40.0	-12.0	-24.0	12.0
NONSEVERE	MEAN	8.6	33.6	-16.4	-30.5	-9.0
NONSEVERE	MEDIAN	8.0	40.0	-15.0	-30.5	-18.0
NONSEVERE	MODE	8.0	40.0			-18.0
NONSEVERE	10 % PERC.	8.0	22.8	-23.8	-30.9	-21.6
NONSEVERE	90 % PERC.	9.6	40.0	-9.6	-30.1	11.0

GR – hail, TOR – tornado, +RA - heavy rain, FC - funnel cloud, WIND - strong wind, LIGH - damaging lightning

MEAN – The arithmetic mean (or simply “mean”) of a sample is the sum of the sampled values divided by the number of items in the sample.

MEDIAN – the median is the number separating the higher half of a data sample from the lower half. The median of a finite list of numbers can be found by arranging

all the observations from the lowest value to the highest value and picking the middle one.

MODE – the mode is the value that appears most often in a set of data.

10 % PERC. – 10% percentile is a measure used in statistics indicating the value below which 10% of observations in a group of observations fall.

90 % PERC. – 90% percentile is a measure used in statistics indicating the value below which 90% of observations in a group of observations fall.

Analyzing statistical quantities showed that there is no specific value of any quantity which would clearly define different severe accompanying phenomena of a storm. The range of any specific value (as Tg , Tl etc.) for each severe event partially cover each other. Some relation for example concerning comparing of Tl or Tg for each phenomenon may be found but the rules are not always valid as the intervals of values overlap each other. It is still faster and easier to analyze gained $T\text{-}re$ plots as an image and not to do any additional calculation. Some basic features of severe and nonsevere $T\text{-}re$ plots gained from Tables 1 and 2 are mentioned in Results and discussion.

T-RE PLOTS IN THE TERRITORY OF CENTRAL EUROPE

As already mentioned two groups of convective situations (severe and nonsevere) were studied and are described below.

Severe situations

12 June 2010

A low pressure trough moving to south-east was affecting Central Europe, the temperature maxima in the Czech Republic were about 26°C . After 15 UTC massive Cbs were observed and thunderstorms developed in the Czech Republic. In south Bohemia, a supercell formed where the rotation of the cloud system was observed from the ground by witnesses and a funnel cloud was reported. Later after 17 UTC hail and heavy rain occurred there. The hail diameter was about 3 cm. Severe wind gusts were reported at 1830 UTC followed by heavy precipitation in the south of Moravia. After 20 UTC further wind gusts were reported in southern Moravia. The strong wind was observed at about 1830 UTC in Austria and was followed by a heavy rain. The wind speed on the squall line was 25 m.s^{-1} . The analysis of cloud areas in Figure 1 shows very small particles (less than 15 μm in radius) up to the level of temperature of about -20°C in clouds according to $T\text{-}re$ plots. This indicates a strong updraft in the lower part of these clouds, namely in Area 1 showing a long and nearly linear lower part of plot that indicates the possibility of a severe weather occurrence (Rosenfeld et al., 2008). Plots in Figure 1 are similar to the profiles gained by tests in the USA etc. by Rosenfeld when hail and other severe weather events were documented. This is confirmed by a hail report from South Bohemia and other dangerous phenomena in the vicinity.

As early as 1427 UTC the cloudiness with a strong updraft about Austria is revealed by the T - re analysis. The profile starts at 9 °C and 6 μm . That indicates the temperature of cloud base (T_b) 9 °C and the effective radius of cloud base particles (rb) of 6 μm . The top of the zone of coalescence (Tl - temperature of lower linear part of the plot) reaches only -8 °C with the cloud particles radius in that level (rl) of 8 μm but the mixed phase zone steeply reaches the T_g (temperature of glaciation zone bottom) of -28 °C and rg (radius at T_g) of 18 μm . That level indicates a full development of the ice phase inside the cloud and the top of a deep mixed phase. In such clouds the precipitation is mostly formed by snow particles and hail. From 1457 UTC the updraft gets even stronger and fills a vertically higher area. Its extent is from -9 °C (T_b) at the cloud base to the level of -16 °C (Tl). The radius of particles at the cloud base (rb) is 6 μm and rl (radius of particle at Tl) is 8 μm . The particles are rising in updraft so quickly that they do not have enough time to grow to larger sizes before reaching that level. The mixed phase zone top reaches the level of T_g of -40 °C with rg of 34 μm . The difference of Tl and T_g equals 24 °C which is quite large. For a high severity of storm that difference is supposed to be as small as possible. Later the coalescence zone reaches higher levels and the difference of Tl and T_g decreases to only 7 °C meaning that the severity of the developing storm rises. After 1500 UTC larger particles in T - re profiles appear and the slope of profiles is not as steep as previously described. A regeneration of updrafts (and T - re profiles severity) to previously mentioned values occurs at about 1600 UTC (Fig. 1 – area 1) but after 1700 UTC the clouds fill with larger particles and the updrafts weaken again.

The area 2 in Figure 1 shows a coalescence zone from 0 °C and rb of 7 μm to -20 °C and 13 μm . The mixed phase follows to the level of -33 °C with rg of 38 μm . The vertical extent of the small particle zone is shallow and particles grow fast to larger sizes. This profile thus provides information about a weaker updraft and according to some of the following images from later hours it did not reach more power. No severe weather events were reported from that area.

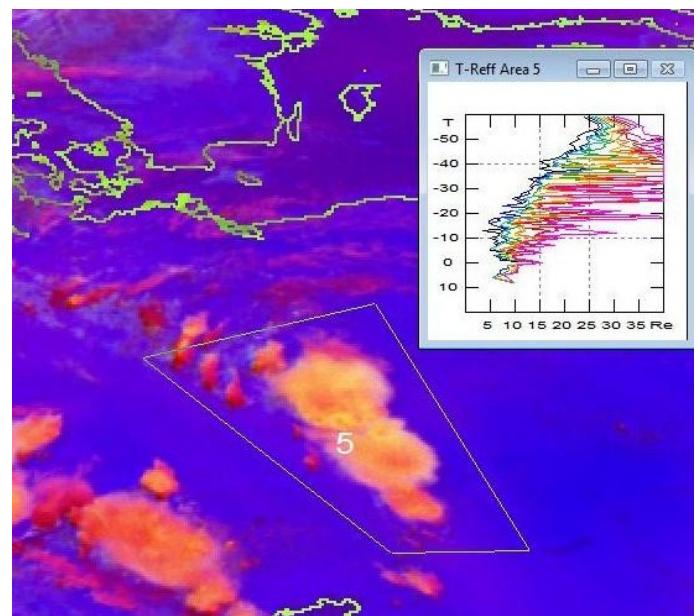
The cloud base temperature above Slovakia was 12 °C and rb of 3 μm (Fig. 1 – area 3) at 1612 UTC. The coalescence zone reaches the level of -26 °C with rl of 17 μm . The mixed phase zone top is then detected at -38 °C level with rg of 29 μm . Such profile corresponds with a strong updraft according to Rosenfeld's findings. Later at about 1700 UTC that strong updraft rises to the level of -40 °C with rg of 15 μm . No less than large hail may be predicted with the help of that cloud profile. Particles of such small radius in that height reveal a significantly severe updraft inside clouds.

25 June 2006

Again a low pressure area was moving to Central Europe from south-west. In Germany a tornado of F1T3 category was documented, leaving a path with the length of 3 km while the maximum path width was 300 m. A funnel cloud and suction vortices were observed, the hail size was 3 cm in diameter, a heavy rain of 50 mm.h^{-1} and strong wind gusts 35 m.s^{-1} with a visibility of about 100 m were reported. A large hail was observed also in South Bohemia at about 16 UTC but its size was not reported.

The analysis of Area 5 in the Figure 2 shows again a very intensive updraft in a large part of cloudiness. The cloud particles are growing to larger sizes only very slowly. A strong updraft can be found in up to the level of temperature of -35 °C. The depicted T - re plot again correspond to those with a hail occurrence. The hail prediction was possible even one hour in advance. This is another case to support the presumption of using T - re plot theory for severe weather nowcasting in Central Europe.

Figure 2. Analysis of the situation for 1512 UTC 25 June 2006.



$Re [\mu\text{m}]$ – cloud particle radius, $T [\text{°C}]$ – temperature of cloud particle, Color lines (black to magenta) in profiles are expressing 5th to 100th percentile of effective particle radius in the interval of 1 °C.

Even at 1242 UTC the plots show intensive updraft in clouds above the Czech Republic and look like hail plots analyzed by Rosenfeld. The cloud base temperature (T_b) shows 7 °C and the radius of particles there was 8 μm . Tl is -10 °C and T_g is -24 °C. Later at about 1300 UTC the zone of coalescence growth of particles widens its extent and the profile becomes steeper. That indicates the strengthening of updraft inside cloudiness. The probability of severe attendant phenomena occurrence of the developing storm grows as well. Such evolution continues until 1327 UTC when Tl reaches -20 °C and the radius of particles at that level (rl) is 13 μm . Taking in account that the cloud top reaches -40 °C and Rosenfeld's findings the risk of hail occurrence is high. At 1357 UTC and later the profiles markedly remind the pro files which occurred when a tornado was observed in the USA. They are only slightly less steep and the cloud base is a little colder.

These differences result from different thermodynamical features of the storm environment and differences of air mass for storms arising in Central Europe and in the USA. There is just a small difference of Tl and Tg which provides an additional assumption of severe storm development (Rosenfeld et al., 2008). At 1427 UTC a far steeper profile was observed and the updrafts continued to strengthen.

Above Germany the $T-re$ profiles refer to the risk of hail occurrence at about 1300 UTC. The cloud base temperature is 10 °C and the radius of particles is 5 µm. The coalescence zone top reaches -13 °C and the radius of cloud particles is 14 µm in that level. In higher levels the particles quickly grow to larger sizes. Already at that time intensive attendant phenomena of the storm may be predicted. The figure from 1427 UTC then reminds the profiles connected to tornado development in the USA. The particle size of 14 µm is reached at the level of -25 °C which again shows a very strong updraft in the clouds. Later the updrafts partially strengthened even more.

3 May 2012

This analysis and forecast was carried out with a real-time data received by the MSG reception station. A weak pressure field was analyzed over Central Europe. The meteorological forecast for the Czech Republic expected local thunderstorms with an isolated heavy rain. According to the European Severe Weather Database (ESWD) Poland experienced a 2 cm hail at about 1130 UTC. In the following hours the hail size grew to 2.5 cm and a hail layer of 10 cm in thickness was reported. Some heavy rain was reported as well from Slovakia and Poland.

The analysis shows quite a strong updraft in the area of the Czech Republic already at 0845 UTC. The cloud base temperature was 6 °C and the cloud particles were of 4 µm in radius. The updraft reached the level of -22 °C (Tl) and the particle radius was 9 µm there. Although the glaciated phase had not yet developed the plot shows a starting convection in Central Europe. After 0900 UTC a glaciated phase formed in the upper part of clouds and the severity of updraft grew even further.

Considering the shape and position of $T-re$ plots it was possible to expect hail even during forenoon hours as shown in Figure 3. The lower very steep part of the diagram well left of 15 µm size reaches from 4 °C up to -18 °C shows a strong updraft in clouds which prevents the particles from growing too fast and confirms convective clouds there.

In later hours the glaciation phase developed from -35 °C and updrafts reached much higher levels (Fig. 4) therefore we expected a large hail or even a weak tornado. The cloud base temperature was 3 °C with particles having radius of 8 µm.

Coalescence zone reached up to -27 °C with particles having radius of 15 µm. Tg was -37 °C at that time and the difference of Tg and Tl was only 7 °C.

According to the shape of acquired plots, its position towards watched values of Tl , Tg , etc. and comparing to the profiles from the USA at least a hail occurrence could be expected since morning hours. Gradually when updrafts reached significantly higher even funnel cloud or tornado cannot be excluded.

Later, the weather radar detection of maximum value again confirms a severe convection in the Czech Republic. Unfortunately (from the research point of view) there was no tornado reported, anyway it might have appeared in uninhabited areas.

Comparing Figures 3 and 4 we can clearly see the evolution of the cloud microphysical composition as well as the updraft zone extent. With the help of such analysis tool the weather prediction gains some new possibilities.

Figure 3. Real-time analysis of the situation for 1045 UTC 3 May 2012.

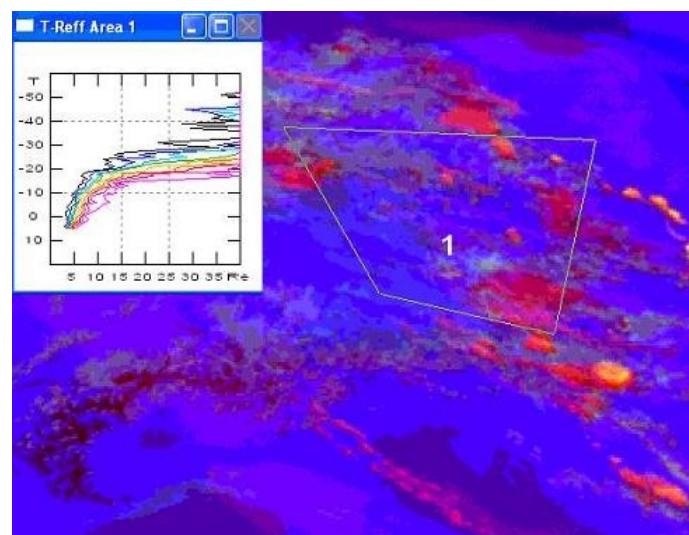
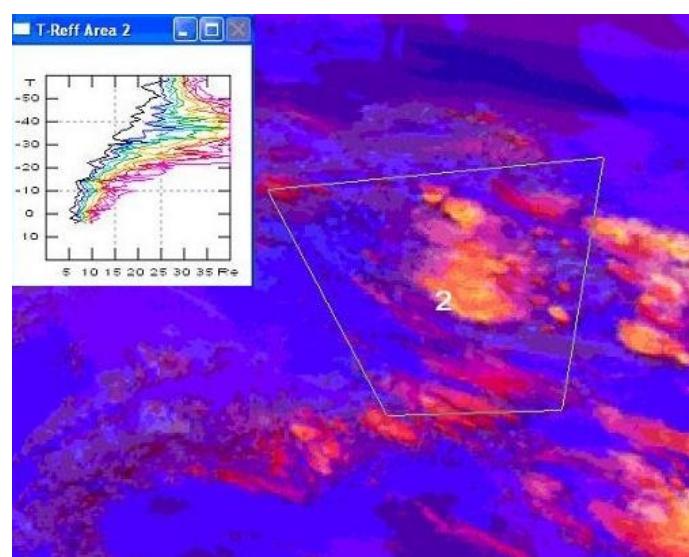


Figure 4. Real-time analysis of the situation for 1500 UTC 3 May 2012.



Re [µm] – cloud particle radius, T [°C] – temperature of cloud particle, Color lines (black to magenta) in profiles are expressing 5th to 100th percentile of effective particle radius in the interval of 1 °C.

Nonsevere (threshold) situations

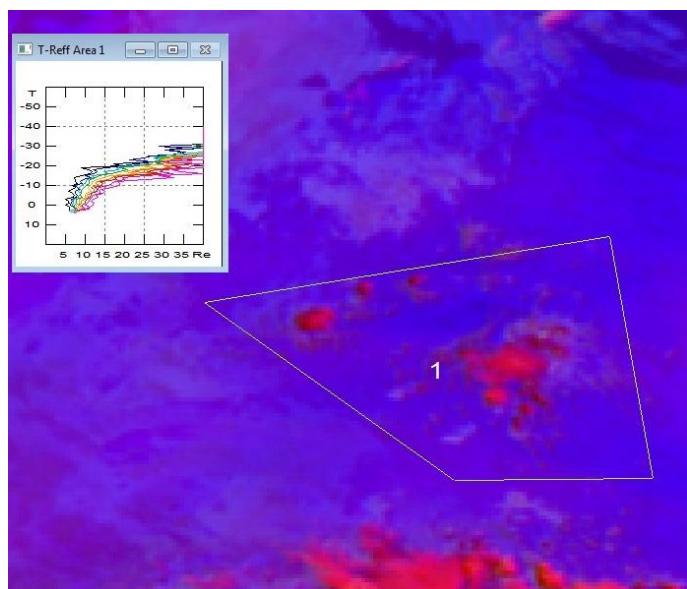
19 April 2012

A low pressure area influenced Central Europe from north-west. There were orange color cells on radar; no severe weather was reported. Nor did the forecast expect any severe or hazardous weather. An area of updrafts occurs just in a small lower part of clouds and the plots are completely nonsevere the convection develops anyway. The cloud base temperature at about 1200 UTC is -2°C and the effective radius of cloud particles is about $8\ \mu\text{m}$. The coalescence zone reaches to the level of -14°C and re is $9\ \mu\text{m}$. The glaciation phase is still absent. The cloud base particles are gradually growing and the lower part of the graph is nearly steep but it is very shallow. Later after 1300 UTC the glaciation phase develops starting at -35°C with a particle radius larger than $38\ \mu\text{m}$. There is no further development of the plots and the particles grow to larger sizes. Non-significant shape of plots and values mentioned above confirms a non-occurrence of significant weather conditions. According to the shape of plots only showers or thunderstorms should be forecasted. There was no significant updraft inside the clouds and there were no conditions apt to the severe storm development.

22 April 2013

A ridge of high pressure from south-west started to influence Central Europe and a convective cloud developed in that area. The cloud base temperature was 3°C at 0715 UTC and the radius of particles was $6\ \mu\text{m}$. The same size of particles can be found in the level of -12°C as well. In higher levels the plot tends to lean to the right side what means that particles grow to re of $12\ \mu\text{m}$ in -18°C level. Later Tl rises to -16°C with $8\ \mu\text{m}$. From that point the plot is oriented to the temperature of -20°C with re of $25\ \mu\text{m}$. Gradually more particles with a radius larger than $15\ \mu\text{m}$ form still below the level of -25 to -30°C . The coalescence zone thickness varies

Figure 5. Analysis of the situation for 1445 UTC 22 April 2013.



$Re\ [\mu\text{m}]$ – cloud particle radius, $T\ [^{\circ}\text{C}]$ – temperature of cloud particle, Color lines (black to magenta) in profiles are expressing 5th to 100th percentile of effective particle radius in the interval of 1°C .

by about 20°C . These graphs do not develop significantly during the day and may be evaluated as nonsevere thunderstorm plots. No significant updraft developed what is clear from the larger radius of particles in lower levels compared to the profiles from severe events observation (Fig. 5).

RESULTS AND DISCUSSION

In total 52 situations were analyzed. 35 of those were accompanied by severe attendant phenomena, while 17 situations may be classified as nonsevere. 11 severe situations were analyzed based on real-time observations (and the majority of nonsevere situations as well). Out of all severe situations 24 hit the Czech Republic. Table 1 summarizes the typical features of re , Tl , Tg etc. of selected situations and Table 2 provides their statistical processing.

Nonsevere situations

Nonsevere situations, still significant in the terms of convection which are presented here can be considered a threshold state from nonsevere to severe situations. The totally nonsevere situations have just a small vertical extent and the particles grow to larger sizes in coalescence zone in lower levels than in cases presented here. In the nonsevere (threshold) situations presented here the coalescence zone thickness usually does not exceed the 20°C extent as shown in Table 2. There are mostly large particles in the coalescence growth zone with the radius of about $15\ \mu\text{m}$. Near the level of -20°C or lower the particles start to enlarge their sizes quickly. The coalescence in nonsevere situations has a larger effect compared to the severe situation. Slower updrafts allow the particles grow to larger sizes as they stay in a relatively thin area in contrast to severe situations. The radius of about $30\ \mu\text{m}$ is usually reached near the level of temperature of about -30°C . The particles are freezing heterogeneously and their sizes enlarge fairly fast in that zone. Cloud bases very often develop in the level between the temperatures of 10°C and 0°C , with the highest frequency between 5°C and 0°C temperatures.

Nonsevere thunderstorms with large Cbs can reach the level of -40°C . The diagrams show a noticeable bent shape anyway and there is no linear part of the graph.

It is important to remember that the large extent of updraft zone and low temperatures near cloud tops indicate hail or other severe attendant phenomena. Even if there is a strong updraft in clouds which is not reaching to very low temperatures, severe storms will not develop.

In the situation when only rain was observed even the values mentioned above are not reached and the plots are shaped towards larger particles in lower temperatures (to the right side).

Severe situations

T-re plots of severe situations (convective storms with dangerous attendant phenomena) reach much higher levels than in the case of nonsevere situations. The plots are steeper in the thicker zone, mostly in their lower part, with this zone being frequently linear or nearly linear as the updraft pushes them higher with a high speed. The radius of 15 μm is mostly reached about the level of temperature of -20°C or above it, while the clouds include ice particles. The particles do not grow fast because they do not stay in the coalescence zone for a long time. When the ice particles at level near -40°C are small it indicates vigorously growing cells with a strong updraft inside allowing a homogenous freezing of particles at those levels. Cloud droplets freeze homogenously and the radius usually is smaller than 35 μm in this zone. Cloud particles with smaller radius than 15 μm often fill the zone of the extent of 30°C or larger.

In case of 2–3 cm hail occurrence the radius of 9 μm was observed up to the level of -22°C . In case of 3 cm hail and 20 mm.h^{-1} rain the radius of 14 μm was identified in the level of about -28°C . With a larger hail (4 cm) the radius of 16 μm reached the level of about -30°C .

It is apparently not possible to determine the exact threshold values of *T* and *re* between severe and nonsevere storms. It is important to analyze the thickness of the zone with small particles (less than 15 μm), the whole vertical extent of cloud cells and the shape of plots in all their parts except the auxiliary values, such as *Tl*, *Tg*, 15 μm etc.

In general, it can be concluded that the profiles in Central Europe start in lower temperatures compared to those from the US (approximately about $5\text{--}10^\circ\text{C}$) and so the values *Tg* and *Tl* are observed at higher levels as well. The crucial point is that the cloud particles diameters are usually about 3–5 μm larger near the cloud base as well as at higher levels.

In some cases the plots indicate strong updrafts even during forenoon but the dangerous events are reported in the evening. This might be caused by the fact that people usually are at work during the day and cannot observe and report severe weather.

For all presented severe situations the mean particle effective radius at the cloud base is found to be between 6.0 and 9.7 μm as presented in Table 2. Tornadic situations considered as the most severe event reveal the third highest mean of particle effective radius at the cloud base, what could be a finding different from Rosenfeld's meaning that smaller radius at the cloud base indicate higher probability of tornado occurrence. There are some indications as well that the smaller *Tg* and *Tl* difference does not always indicate a greater severity of an event. Situations with funnel clouds and damaging lightning presented in Table 1 show a smaller *Tg* and *Tl* difference of mean values than tornadic situations do.

Anyway the temperature of 15 μm in tornadic situations is reached in higher levels compared with other situations as presented in Table 2.

In cases with the occurrence of a funnel cloud without any other dangerous phenomena of thunderstorms a fairly steep lower part of plots was observed but it did

not reach any significantly high levels. It usually ends at about -20°C .

Presenting some statistical values apparently does not always describe the situation of *T-re* profiles the best way. It is crucial to analyze the *T-re* plots as a unique situation description because for example not every thunderstorm has the same *T-re* values and not every tornado is the same. The situations have to be evaluated in the extent of updraft zone and the cloud top height as well. Statistical values do strictly not differentiate between particular severe events because they generalize analyzed values such as *Tg* or *Tl* too much.

There was an idea to compile a collection of different storms with the same cloud top in a specific geographical area. Such a collection could provide a deeper insight into storms of comparable parameters and subsequently improve and facilitate a faster use of *T-re* profiles. The cloud tops of severe storms are usually above the level of -50°C . To complete such ensemble there is a need for aircraft measurement of cloud tops with some special equipment what is very expensive to carry out.

Table 1 however provides an overview of storms with similar attendant phenomena in groups and it is clear that every storm has a slightly different microstructure even when it is accompanied with phenomena of similar intensity. There is a reasonable assumption that more storms with the same cloud top height or any other single parameter would have a slightly different attendant phenomena.

After the Meteosat Third Generation satellites are launched, a better resolution and more effective usage is expected and the full potential of this method will be reached.

CONCLUSIONS

The satellite observation of clouds in different spectral channels is the basic principle of the presented theory. With special software it is possible to generate *T-re* plots that represent the microphysical composition of clouds. These diagrams were previously successfully tested and verified in different countries (Rosenfeld and Lensky, 1998; Lensky and Rosenfeld, 2005; Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld et al., 2009). This research tends to confirm their validity for Central Europe and the possibility of a usable tool of nowcasting during severe convective storms situations. Improving our skills in forecasting their dangerous accompanying phenomena helps to protect property as well as human lives. The analysis of archived satellite data selected according to dangerous weather reports as well as the real-time data from MSG reception station was carried out and the applicability of this theory was evaluated. Also, the nonsevere threshold situations were analyzed in order to confirm the potential of this tool for these, non-threatening cases as well. According to our findings, *T-re* plots are applicable also in Central Europe. Different air mass types play a crucial role in the thermodynamic condition above different areas. The profiles from Central Europe revealed for example that the temperatures of cloud bases are shifted to lower numbers in Central Europe and the cloud particles near the cloud base are slightly larger here

compared to profiles from the USA, as mentioned in chapter 3. Also Tl and Tg values were usually found higher what represents lower temperatures than in the USA.

Analyzing cloudy areas from morning hours in days with expected intensive convection, this tool can help to reveal the areas apt to produce severe weather phenomena mostly 1 or 2 hours in advance, sometimes even sooner. It is very simple software to use and provides quickly the microphysical preview of clouds. After the familiarization with some typical $T-re$ profiles for severe situations a local forecaster should be able to use it successfully in improving the severe weather nowcasting processes. With the help of this nowcasting tool a specific and more accurate weather warnings for particular areas can be issued to protect property or even lives. Furthermore the effect of aerosols on cloud formation (Rosenfeld and Lensky, 1998) and their role in severe weather forecasting can be studied using MSG_RGB software. A considerable climatological research in the field of microphysical cloud structure may be carried out done using satellite data worldwide. The efficiency of the tool lies not only in forecasting but also in monitoring and other branches of meteorology.

Acknowledgements

This project was supported by the Specific research fund of Faculty of Mathematics and Physics, Charles University Prague, number SVV-2011-263308.

Special thanks for a great help to Dr Itamar Lensky, Bar-Ilan University, Israel, the provider of the MSG_RGB software and EUMETSAT for providing satellite data.

REFERENCES

- Beswick, K.M.–Gallagher, W.–Webb, A.R.–Norton, E.G.–Perry, F., 2008, Application of the Aventech AIMMS20AQ air-borne probe for turbulence measurements during the Convective Storm Initiation Project. In: *Atmos. Chem. Phys.*, Vol. 8, 5449–5463, doi:10.5194/acp-8-5449-2008, 2008.
- Doswell C.A. III, 1994, Flash Flood-Producing Convective Storms: Current Understanding and Research. In: *Report of the Proceedings of the U.S.-Spain Workshop on Natural Hazards Barcelona, Spain, 8–11 June 1993*, 97–107.
- Lensky, I.–Rosenfeld, D., 2005, The Time-Space Exchangeability of Satellite Retrieved Relations Between Cloud Top Temperature and Particle Effective Radius. In: *Atmos. Chem. Phys.*, Vol. 6, 2887–2894.
- Lensky, I.–Shiff, S., 2007, Using MSG to monitor the evolution of severe convective storms over East Mediterranean Sea and Israel, and its response to aerosol loading. In: *Adv. Geosci.*, Vol 12, 95–100.
- Lensky, I., 2009, User Guide for MSG_RGB, personal communication.
- Lindsey, D.T.–Hiller, D.W.–Grasso, L.–Knaff, J.A.–Dostalek, J. F., 2006, GOES Climatology and Analysis of Thunderstorms with Enhanced 3.9 μm Reflectivity. In: *Monthly Weather Review*, Vol. 134, 2342–2353.
- Martins, J.V.–Marshak, A.–Reemer, L.A.–Rosenfeld, D.–Kaufman, Y.J.–Fernandez-Borda, R.–Koren, I.–Yubko, V.–Artaxo, P., 2007, Remote Sensing The Vertical Profile of Cloud Droplet Effective Radius, Thermodynamic Phase and Temperature. In: *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, Vol. 7, 4481–4519.
- Melani, S.–Cattani, E.–Levizzani, V.–Cervino, M.–Torricella, F., 2003, Radiative effects of simulated cirrus clouds on top of a deep convective storm in MSG SEVIRI channels. In: *Meteorol. Atmos. Phys.*, Vol. 83, 109–122.
- Rosenfeld, D.–Lensky, I., 1998, Satellite-Based Insights into Precipitation Formation Processes in Continental and Maritime Convective Clouds. In: *The Bulletin of American Meteorological Society*, Vol. 79, 2457–2476.
- Rosenfeld, D.–Woodley, W.L.–Kelman, G.–Golden, J.H., 2009, Short-Term Forecasting of Severe Convective Storms Using Quantitative Multi-Spectral Satellite Imagery: Results of the Early Alert Project, Unpublished research.
- Rosenfeld, D.–Woodley, W.L.–Krauss, T.W.–Makitov, V., 2006, Aircraft Microphysical Documentation from Cloud Base to Anvils of Hailstorm Feeder Clouds in Argentina. In: *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 45, 1261–1281.
- Rosenfeld, D.–Woodley, W.L.–Lerner, A.–Kelman, G.–Lindsey, D.T., 2008, Satellite Detection of Severe Convective Storms by Their Retrieved Vertical Profiles of Cloud Particle Effective Radius and Thermodynamic Phase. In: *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D04208.
- Setvák, M., 1989, Convective Storms - The AVHRR Channel 3 Cloud Top Reflectivity as A Consequence of Internal Processes. In: *Proc. 5th WMO Conference of Weather Modification and Applied Cloud Physics, Beijing, China, WMO/TD 269*, 109–112.
- Shiqiang, F.–Zhemin, T., 2001, On the helicity dynamics of severe convective storms. In: *Advances in Atmospheric Sciences* Vol. 18, 67–86.
- Tokay, A.–Short, D.A., 1996, Evidence from Tropical Raindrop Spectra of the Origin of Rain from Stratiform versus Convective Clouds. In: *J. Appl. Meteor.*, Vol. 35, 355–371.
- Tolasz, R.–Brázdil, R.–Bulíř, O.–Dobrovolný, P.–Hájiková, L.–Halászová, O.–Hostýnek, J.–Janouch, M.–Kohout, M.–Krška, K.–Křivancová, S.–Květoň, V.–Lepka, Z.–Lipina, P.–Macková, J.–Metelka, L.–Míková, T.–Mrkvica, Z.–Možný, M.–Nekovář, J.–Němec, L.–Pokorný, J.–Reitschläger, J.D.–Richterová, D.–Rožnovský, J.–Repka, M.–Semerádová, D.–Sosna, V.–Stříž, M.–Šercl, P.–Škálová, H.–Štěpánek, P.–Štěpánková, P.–Trnka, M.–Valeriánová, A.–Valter, J.–Vaníček, K.–Vavruška, F.–Voženílek, V.–Vráblík, T.–Vysoudil, M.–Zahradníček, J.–Zusková, I.–Žák, M.–Žalud, Z., 2007, *Atlas podnebí Česka – Climate Atlas of Czechia*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 256 pp.
- Visser, P.J.M., 2001, The Storm-Structure-Severity method for the identification of convective storm characteristics with conventional weather radar. In: *Meteorol. Appl.*, Vol. 8, 1–10.
- Wilson, J.W.–Crook, N.A.–Mueller, C.K.–Sun, J.–Dixon, M., 1998, Nowcasting Thunderstorms: A Status Report. In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, 2079–2099.

ZMENY VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK METEOROLOGICKÝCH PRVKOV V NÍŽINNÝCH POLOHÁCH SLOVENSKA A ICH VPLYV NA KLASIFIKÁCIU KLÍMY

GABRIELA IVANÁKOVÁ¹, PAVOL FAŠKO¹, LÍVIA LABUDOVÁ^{1,2}

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, gabriela.ivanakova@shmu.sk,
pavol.fasko@shmu.sk, livia.labudova@shmu.sk

² Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká Fakulta UK v Bratislave, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

In the context of climate change, scientists discuss about the attribution of reference periods to the assessing of climate. Recently, many studies have been published comparing recent conditions with the last reference period 1961–1990. In this paper, the trends of annual, seasonal and monthly average air temperature as well as annual, seasonal and monthly precipitation totals in the lowlands and southern basins of Slovakia are presented to point on changes, which will be probably shown in the next reference period 1991–2020. In the second part of the paper, changes in climate regions in the south of Slovakia are analysed comparing the spatial distribution of regions in the period 1961–1990 and in the period 1961–2010.

V kontexte klimatickej zmeny sa pomerne často diskutuje o funkcií normálov pri hodnotení zmeny klímy. V súvislosti s tým bolo publikovaných viacero štúdií, ktoré porovnávajú súčasné podmienky s podmienkami posledného klimatologickeho normálu 1961–1990, resp. starších normálovych období. V tomto príspevku je prezentovaná bilancia mesačných, sezónnych a ročných trendových analýz teploty vzduchu a zrážkových úhrnov v nížinnych a južných kotlinových polohách Slovenska v snahe poukázať na zmeny, ktoré sa prejavia pri vyhodnotení nasledujúceho normálového obdobia 1991–2020. V druhej časti príspevku sú analyzované zmeny v priestorovom rozšírení klimatických oblastí na juhu Slovenska porovnaním výsledkov klimatickej klasifikácie v obdobiah 1961–1990 a 1961–2010.

Key words: temperature, precipitation, trend analysis, Konček's climate regions classification, lowlands of Slovakia

ÚVOD

V súvislosti v dôsledkami klimatickej zmeny sa v posledných rokoch viedie diskusia o funkcií normálov pri hodnotení klímy. Najnovšie existuje viac príkladov, kedy sa aktuálne počasie neporovnáva s aktuálnymi normálmi, ale iba s posledným dlhodobým 30-ročným priemerom, ktoré bolo začiatkom leta 2015 Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) odporúčané ako najnovšie normálové obdobie. Cieľom tohto príspevku je poukázať na zmeny, ktoré budú vykazovať normály za obdobie 1991–2020 a zároveň vyjadriť, že v minulosti sa normály neodlišovali tak zásadne ako to predpokladáme medzi normálmi 1961–1990 a 1991–2020.

Výpočet dlhodobých priemerov meteorologických prvkov a ich charakteristik, vrátane normálov, pre rôzne obdobia patrí k základným činnostiam klimatológie. Normál je definovaný ako aritmetický priemer klimatického prvku (napr. teploty vzduchu) za 30-ročné obdobie. Svetová meteorologická organizácia (WMO) stanovila, že na celosvetové porovnávanie sa budú používať štandardné normálové obdobia 1901–1930, 1931–1960 a 1961–1990. WMO v roku 2015 pristúpila na používanie posledného dlhodobého 30-ročného priemeru 1981–2010 ako normálu. Tako jednotne definované podmienky dovoľujú robiť porovnania v širšom regionálnom meradle, kvantifikovať zmeny klimatologických prvkov a charakteristik oproti

predchádzajúcim normálovým obdobiam, a objektívne zhodnotiť stav a variabilitu klímy.

Klimatické pomery jednotlivých lokalít a oblastí sa od seba odlišujú, iné majú podobný ráz. Z praktickej potreby zmapovať rozdielnosť a príbuznosť jednotlivých oblastí na Zemi, sú zavádzané rôzne klimatické klasifikácie. Takto sa vyčleňujú rozličné typy a podtypy klímy podľa určitých kritérií. Častejšie sú používané tzv. efektívne (konvenčné) klimatické klasifikácie, ktoré sú založené na hodnotení vplyvu klímy na okolité prírodné prostredie. Klímu klasifikujú podľa výrazných geomorfologických a vegetačných javov alebo znakov v prírodnom prostredí a ich zmien počas roka, ktoré sú podmienené pretrvávaním určitých klimatických podmienok. Hranice medzi jednotlivými klimatickými oblasťami s charakteristickými klimatickými typmi sú určené na základe konvenčne zvolenej veľkosti klimatických alebo iných prvkov, príp. ich kombinácie, bez ohľadu na podmienky tvorby podnebia.

Pri takýchto klasifikáciach sa vymedzuje väčší počet klimatických typov, aby vystihli rôznorodosť klímy daného územia. Hranice medzi jednotlivými klimatickými typmi či podtypmi sú určené na základe konvenčne zvolenej veľkosti klimatických alebo iných prvkov, prípadne ich kombinácií, bez ohľadu na podmienky tvorby podnebia. Zaužívanou a akceptovanou konvenčnou klimatickou klasifikáciou pre podmienky Slovenska je tzv. Končekova klasifikácia (Konček a Petrovič, 1957).

METODIKA

Teplota vzduchu

Pri spracovaní príspevku sme vychádzali z mesačných priemerov teploty vzduchu zo 6-tich meteorologických staníc (podčiarknuté stanice) na území Slovenska za obdobie rokov 1931–2014 (Obr. 1). Výber staníc bol podmienený kompletným časovým radom merania a pozorovania. Dostupné údaje z databázy SHMÚ, zo Zborníka prác SHMÚ č. 23 (Petrovič a Šoltis, 1984) boli opravené na základe kontroly homogenity klimatických prvkov softvérovým produktom MASHv3.03 (Szenthimrey, 2003). Tým sa odhalili a zároveň odstránili diskontinuity, ku ktorým dochádzalo najmä pri zmene polohy staníc, zmene pozorovateľa alebo výmene prístrojového vybavenia stanice.

Vybrané meteorologické stanice reprezentujú nížinné oblasti a južné kotlinové polohy nášho územia. Údaje priebernej mesačnej teploty vzduchu boli pre každú stanicu zhomogenizované. Následne boli tieto údaje v mesačnom, sezónnom, polročnom a ročnom kroku tabelárne a graficky spracované. V grafickom spracovaní bol použitý lineárny trend pre obdobie 1931–1990, 1991–2014, 1931–2014. Signifikantnosť trendu bola testovaná F-štatistikou na úrovni $\alpha = 0,05$.

Na demonštráciu zmien teploty vzduchu v jarných a zimných mesiacoch 1931–2014 boli na meteorologickej stanici Hurbanovo analyzované aj charakteristiky počtu letných, tropických, ľadových a arktických dní. Za letný deň považujeme v meteorológii deň, kedy maximálna denná teplota vzduchu (T_{max}) je rovná alebo vyššia ako 25°C . Tropický deň je definovaný vztahom $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$, ľadový deň $T_{max} \leq 0^{\circ}\text{C}$, arktický deň $T_{max} \leq -10^{\circ}\text{C}$ (Sobíšek, 1993).

Na vybraných meteorologických staniciach (Hurbanovo, Bratislava-letisko, Košice-letisko, Kamenica nad Cirochou) boli analyzované aj počty rekordov maximálnej dennej teploty vzduchu prekonaných za obdobie 1991–2014 v porovnaní s normálovým obdobím 1961–1990. To bolo ná pomocné pri čiastočnom zhodnotení dynamiky otepľovania v priebehu posledných približne 25 rokov.

Priestorová hodnota charakterísk teploty vzduchu bola počítaná ako priemer z celej vähy 11 meteorologickej staníc a z 1/10 vähy horských staníc (Lomnický Štít, Skalnaté Pleso, Štrbské Pleso) zobrazených na obrázku 1. Uvedený výpočet plne korešponduje so zaužívaným výpočtom priestorovej hodnoty charakterísk teploty vzduchu pre územie Slovenska (Lapin a kol., 1995).

Atmosférické zrážky

Priestorovým úhrnom zrážok môžeme jednou hodnotou charakterizovať zrážkové pomery určitého regiónu. Pre územie Slovenska boli metódou dvojitého váženého prieberu spracované mesačné úhrny zrážok z počtu 203 zrážkomerných staníc. Výsledkom boli priestorové hodnoty mesačných úhrnov zrážok pre celé územie Slovenska, ktoré predstavujú pomerne konzervatívnu hodnotu, vhodnú na analýzu vývoja zrážkových pomerov (Šamaj a Valovič, 1982).

Údaje mesačných úhrnov atmosférických zrážok boli pre súbor staníc v mesačnom, sezónnom, polročnom a roč-

nom kroku tabelárne a graficky spracované. V grafickom spracovaní bol použitý lineárny trend pre obdobie 1931–2014. Signifikantnosť trendu bola testovaná F-štatistikou na úrovni $\alpha = 0,05$.

Klimatická klasifikácia územia Slovenska

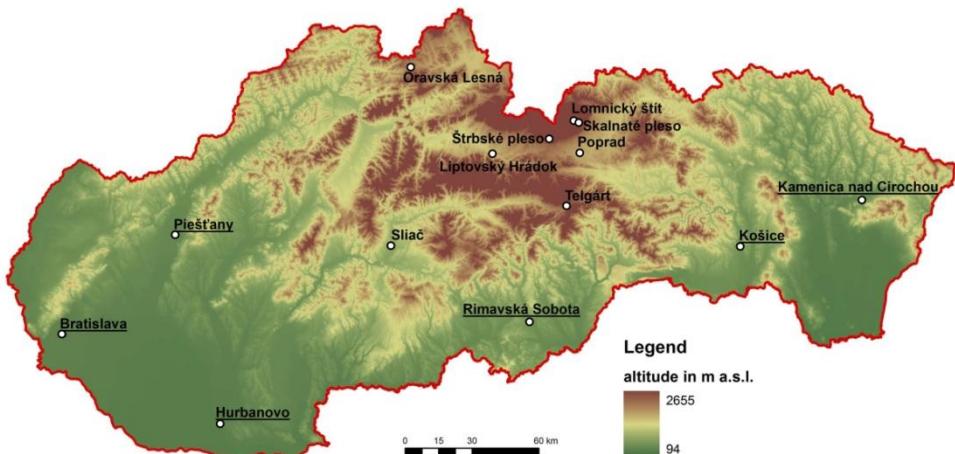
Pre územie Slovenska je zaužívaná tzv. Končekova klimatická klasifikácia (Konček a Petrovič, 1957). Táto metóda berie ohľad na teplotné, ako aj vlhové pomery, čo umožňuje lepšie vystihnúť celkový klimatický ráz územia. Základné delenie je podľa teplotných kritérií, ktoré vyčleňuje tri hlavné oblasti – teplú, mierne teplú a chladnú. Teplá oblasť má hranicu totožnú s izočiarou priemerného počtu 50 letných dní. Mierne teplá oblasť pokračuje nad teplou oblasťou a je zhora ohraničená izotermou priemennej júlovej teploty rovnnej 16°C . Do chladnej oblasti teda patria územia, v ktorých priemerná júlová teplota vzduchu nedosahuje 16°C . Ďalšie delenie na klimatické podoblasti je na základe Končekovho indexu zavlaženia (Iz). Končekov index zavlaženia je empiricky určený užívateľom vlhovej bilancie vo vegetačnom období v tvare $Iz = 0,5R + \Delta r - 10T - (30 + v^2)$.

Do jeho výpočtu vstupujú klimatické prvky: úhrn zrážok vo vegetačnom období (R), kladná odchýlka úhrnu zrážok v zime od 105 mm (Δr), priemerná teplota vzduchu vo vegetačnom období (T) a priemerná rýchlosť vetra o 14:00 h vo vegetačnom období (v). Výhodou indexu je, že berie do úvahy najmä letné zrážky, ktoré sú rozhodujúce pre vegetáciu a zo zimných zrážok uvažuje len ich prebytok, ktorý zvyšuje letnú bilanciu. V rámci vyčleňovania klimatických okrskov sa do úvahy okrem Končekovho indexu zavlaženia berú aj priemerná teplota vzduchu v januári, priemerná teplota vzduchu v júli a nadmorská výška. Výsledná mapa klimatických regiónov vznikla naložením máp spomínaných klimatických charakteristík. Táto klasifikácia bola použitá napr. aj v Atlase krajiny (2002) pre obdobie 1961–1990, s ktorého výsledkami porovnáme aj najnovšie výsledky klasifikácie.

Naše porovnanie sa zameriava na zmeny v nížinných oblastiach a na zmeny rozšírenia teplej oblasti. Teplá oblasť je ohraničená priemerným ročným výskytom 50 a viac letných dní. V rámci oblasti rozlišujeme okrsky na základe rozdielov v teplotných podmienkach počas zimy a rozdielov vlhkostných podmienok na základe Iz. Pre zimné podmienky je rozhodujúcim kritériom priemerná mesačná teplota v januári, pričom hraničnou hodnotou sú -3°C . Územia s nižšou priemernou januárovou teplotou vzduchu sú označované ako okrsky s chladnou zimou, a naopak s miernou zimou pokial' je táto charakteristika nad hraničnou hodnotou. Vlhkostné podmienky rozdeľujú okrsky od veľmi suchého s $Iz < -40$ až po vlhký s $Iz \geq 60$. Musíme však zdôrazniť, že mapa klimatických regiónov v Atlase krajiny (2002) bola vytvorená bez použitia GIS softvéru a digitalizovaná dodatočne. Preto malé odchýlky v hraniciach jednotlivých okrskov môžu byť spôsobené rozdielnou interpolačnou technikou. Na druhej strane odchýlky v okrskoch, ktoré budú popísané v nasledujúcej kapitole, sú tak výrazné, že je evidentný ich pôvod v klimatickej zmene.

Obrázok 1.
Vybrané meteorologické stanice na území Slovenska (nepodčiarknuté stanice boli použité len do územného priemeru teploty vzduchu).

Figure 1.
Location of selected meteorological stations in Slovakia (not underlined stations were used only for spatial average temperature).



Tabuľka 1. Lineárny trend teploty vzduchu v °C za dekádu v období 1931 – 2014 na území Slovenska (hrubo vyznačené hodnoty sú štatisticky významné).

Table 1. Linear trend of average monthly, seasonal and annual temperature in °C per decade in the period 1931 – 2014 (bold values are statistically significant).

Stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Jar	Leto	Jeseň	Zima	TP	CHP
Bratislava-Letisko	0,36	0,23	0,25	0,19	0,16	0,18	0,18	0,19	0,00	0,08	0,09	0,10	0,17	0,20	0,18	0,06	0,23	0,15	0,17
Hurbanovo	0,37	0,26	0,25	0,21	0,16	0,13	0,15	0,15	-0,02	0,08	0,10	0,11	0,17	0,21	0,14	0,06	0,25	0,13	0,19
Kamenica n/Cirochou	0,38	0,21	0,24	0,19	0,12	0,13	0,17	0,15	-0,03	0,07	0,06	0,04	0,15	0,18	0,15	0,03	0,22	0,12	0,16
Košice-Letisko	0,32	0,23	0,25	0,23	0,15	0,17	0,21	0,18	0,02	0,09	0,08	0,00	0,16	0,21	0,19	0,06	0,18	0,16	0,15
Piešťany	0,27	0,16	0,20	0,14	0,12	0,10	0,14	0,17	-0,03	0,06	0,06	0,06	0,12	0,15	0,14	0,03	0,16	0,11	0,13
Rimavská Sobota	0,37	0,23	0,20	0,21	0,15	0,16	0,17	0,21	-0,04	0,09	0,04	0,09	0,16	0,19	0,18	0,03	0,23	0,14	0,16
Slovensko	0,35	0,22	0,22	0,19	0,14	0,15	0,17	0,17	-0,03	0,08	0,08	0,06	0,15	0,18	0,16	0,04	0,21	0,13	0,15

Tabuľka 2. Priestorové hodnoty priemernej teploty vzduchu v rôznych obdobiach pre Slovensko.

Table 2. Spatial values of average air temperature in Slovakia in different periods.

Obdobie	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Jar	Leto	Jeseň	Zima	TP	CHP
1931 – 1960	-4,2	-2,5	1,9	7,7	12,9	16,1	17,9	17,1	13,4	7,8	2,9	-1,3	7,5	7,5	17,0	8,1	-2,7	14,2	0,7
1961 – 1990	-3,8	-1,6	2,4	7,8	12,9	15,8	17,3	16,7	13,0	8,0	2,6	-1,9	7,4	7,7	16,6	7,9	-2,4	13,9	1,0
1961 – 2010	-3,2	-1,4	2,6	8,2	13,2	16,3	18,0	17,3	13,0	8,1	2,9	-1,9	7,8	8,0	17,2	8,0	-2,1	14,3	1,2
1991 – 2014	-2,3	-1,2	3,0	8,9	13,8	17,2	19,0	18,3	13,3	8,3	3,6	-1,6	8,4	8,6	18,2	8,4	-1,7	15,1	1,6

VÝSLEDKY

Teplosť vzduchu

Obdobie 1991 – 2014 sa vyznačuje vzostupným trendom teploty vzduchu. Doteraz sa väčšina analýz tohto druhu robila pre časové rady na jednotlivých meteorologických staniciach bez komplexného priestorového porovnania. Našou snahou a motiváciou bolo zistiť, či výraznosť vzostupného trendu bude porovnatelná v nížinnych a južných kotlínových polohách územia Slovenska.

Napriek existencii väčšej oceanity klímy na západe a väčšej kontinentality klímy na východe nášho územia, ako aj teplejšej klímy na juhu a chladnejšej klímy na severe Slovenska, sú výsledky analýzy jednoznačné. Prejavili sa porovnatelne vzostupné trendy priemernej ročnej teploty vzduchu vo všetkých analyzovaných časových radoch na všetkých staniciach.

Priemerná ročná teplota vzduchu v období 1991 – 2014 vzrástla v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 o 0,9 °C (Piešťany, Kamenica nad Cirochou, Rimavská Sobota), o 1,0 °C

v Hurbanove, až o 1,1 °C na staniciach Bratislava-letisko a Košice-letisko. Detailnejší prehľad nárastu priemernej teploty vzduchu na jednotlivých staniciach za obdobie 1931 – 2014 poskytuje tabuľka 1.

Výsledky z jednotlivých meteorologických staníc korešpondujú aj s priestorovou hodnotou priemernej ročnej teploty vzduchu pre územie Slovenska, ktorá v období 1991 – 2014 vzrástla o viac ako 1,0 °C v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 (Tab. 2), čo ilustruje aj obrázok 2.

Pri porovnaní normálov priemernej ročnej teploty vzduchu na analyzovaných meteorologických staniciach v obdobiach 1931 – 1960 a 1961 – 1990 dosiahol rozdiel maximálne 0,1 °C. To znamená, že oteplenie v období 1991 – 2014 dosiahalo až 1,0 °C.

Ak berieme do úvahy ročný režim teploty vzduchu, tak v jednotlivých mesiacoch bola miera vzostupu priemernej mesačnej teploty vzduchu rôzne výrazná (Tab. 2). Najvýraznejšia bola v mesiaci január, jún, júl a august. To sa prejavilo vo výslednej hodnote rozdielu medzi porovnanými referenčnými obdobiami. Priestorová hodnota prie-

mernej mesačnej teploty vzduchu v období 1991–2014 v porovnaní s obdobím 1961–1990 vzrástla v januári o 1,5 °C, v júni o 1,4 °C, v júli a v auguste o 1,7 resp. 1,6 °C. Pri porovnaní tridsaťročí 1931–1960 a 1961–1990 dosiahli priestorové hodnoty v týchto mesiacoch rozdiel najviac 0,9 °C v absolútnych hodnotách vo februári a 0,6 °C v júli a decembri.

V prechodných ročných obdobiach, na jar a jesenn, v období 1991–2014 v porovnaní s obdobím 1961–1990 sú rozdiely priemernej mesačnej teploty vzduchu vo väčšine mesiacov menej výrazné ako v zime a v lete, čo dokumentujeme aj na obrázku 3. Výnimku tvoria mesiace apríl, máj a november.

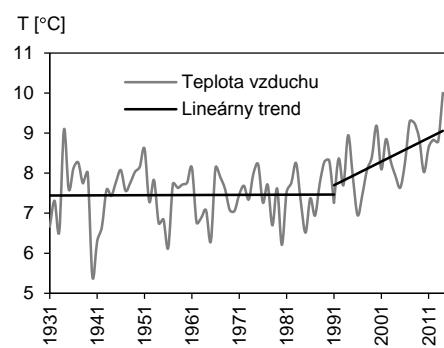
Výraznejší rozdiel zaznamenaný v apríli by sa dal zdôvodniť ubúdajúcim počtom dní so snehovou pokrývkou a jej menším priestorovým rozšírením v marci (Pecho a kol., 2010a). To umožňuje na jar v procese otepľovania rýchlejšie ohrevanie zemského povrchu, ktoré sa potom prejavuje vyššou teplotou vzduchu v druhej polovici jari. Z toho vyplýva dôležité konštatovanie, že snehová pokrývka pôsobí ako zábrana pri jarnom otepľovaní v nízinných polohách. V čase neprítomnosti snehovej pokrývky je výraznosť otepľovania rovnaká aj napriek existencii väčšej oceanity klímy na západe a väčšej kontinentality klímy na východe nášho územia.

Porovnateľný vzostup teploty vzduchu ako v apríli je aj v ďalšom jarnom mesiaci - máji. Je známych viac prípadov, kedy už na začiatku mája boli zaznamenané krátke obdobia s tropickou teplotou vzduchu. Ich výskyt bol zachytený niekol'kokrát v období od poslednej dekády 20. storočia. V minulosti boli takéto prípady ojedinelé a vzťahovali sa prevažne na jednotlivé dni. Najnovším

javom sú epizodické prípady horúčav, alebo jednotlivých dní s horúčavou už na konci apríla a začiatkom mája. Opakovane boli zaregistrované na Slovensku na začiatku druhej dekády 21. storočia (Výberči, 2012). Vhodným príkladom sú počty letných ($T_{\text{max}} \geq 25^{\circ}\text{C}$) a tropických ($T_{\text{max}} \geq 30^{\circ}\text{C}$) dní na meteorologickej stanici Hurbanovo, kde je najnápadnejší jednoznačný prírastok tropických dní v máji, počnúc druhou polovicou poslednej dekády 20. storočia (Obr. 4). V prípade počtu letných dní je najpozoruhodnejší nárast takých májov, kedy nadpolovičná väčšina dní v tomto mesiaci mala maximálnu dennú teplotu vzduchu rovnú alebo väčšiu ako 25°C . Od roku 1991 bolo takýchto májov päť (1993, 2000, 2001, 2003, 2012), kým za predchádzajúcich 60 rokov (1931–1990) bol zaregistrovaný iba jeden takýto máj (v roku 1958).

Obrázok 2. Priestorová priemerná ročná teplota vzduchu v období 1931–2014 na území Slovenska.

Figure 2. Spatial average annual temperature in Slovakia in the period 1931–2014.



Obrázok 3. Priemerná priestorová mesačná teplota vzduchu v jarných a jesenných mesiacoch v období 1931–2014 na území Slovenska.

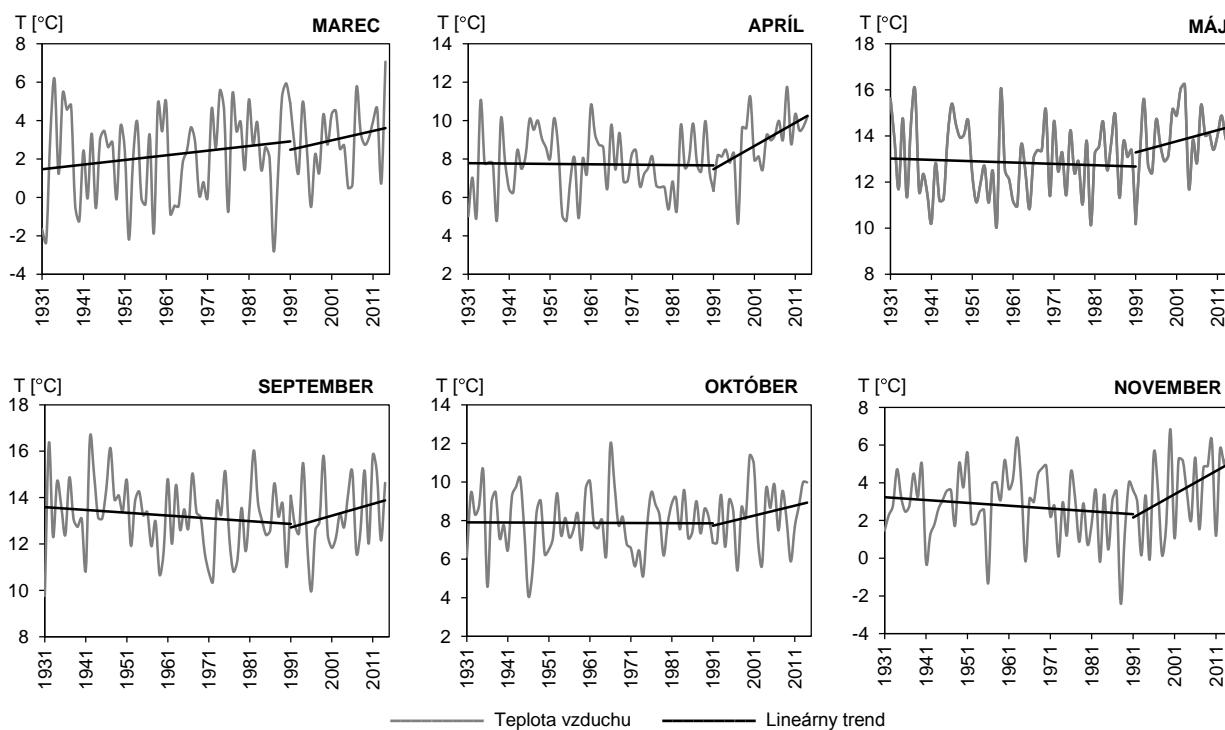
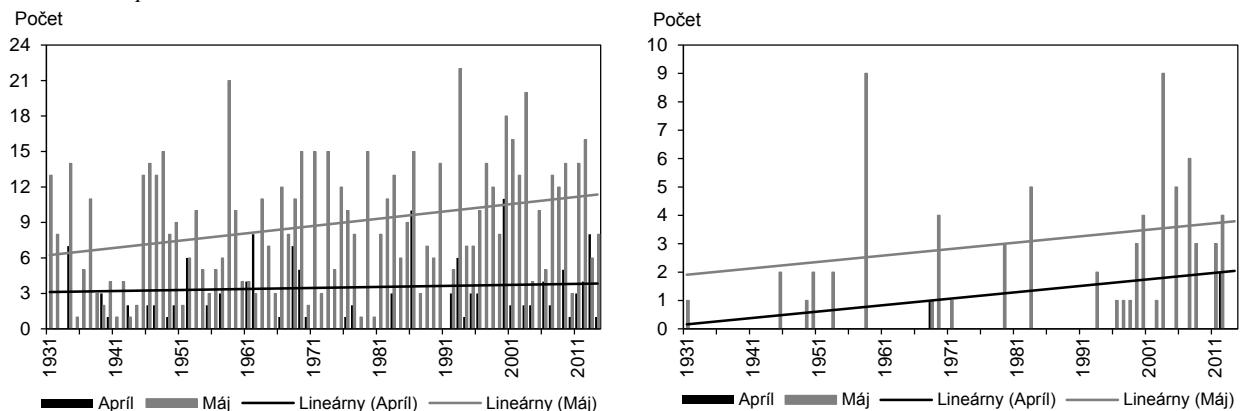


Figure 3. Spatial average value of monthly temperature in March to May and in September to November in Slovakia in the period 1931–2014.

Obrázok 4. Počet letných dní ($T_{max} \geq 25^{\circ}C$, vľavo) a tropických dní ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$, vpravo) v období 1931–2014 na meteorologickej stanici Hurbanovo v mesiacoch apríl a máj.

Figure 4. Number of summer days ($T_{max} \geq 25^{\circ}C$, left) and tropical days ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$, right) in months April and May in Hurbanovo in the period 1931–2014.

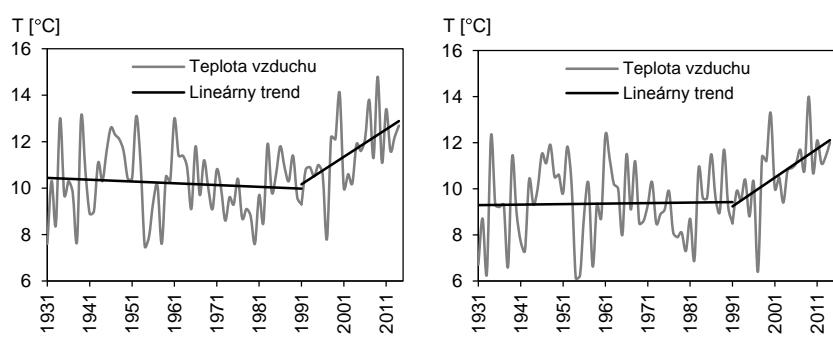


Obrázok 5.

Priemerná mesačná teplota vzduchu v apríli v období 1931–2014 na meteorologickej stanici Bratislava-letisko (vľavo) a Košice-letisko (vpravo).

Figure 5.

Average monthly temperature in April in Bratislava (left) and in Košice (right) in the period 1931–2014.

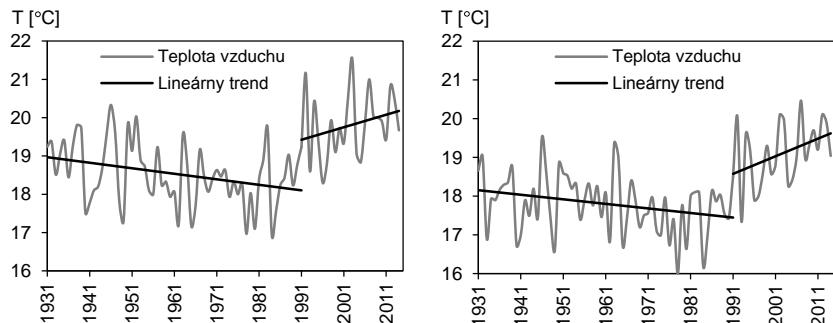


Obrázok 6.

Priemerná teplota vzduchu v lete v období 1931–2014 na meteorologickej stanici Piešťany (vľavo) a Kamenica nad Cirochou (vpravo).

Figure 6.

Average air temperature in summer in Piešťany (left) and in Kamenica nad Cirochou (right) in the period 1931–2014.



Najvyšší rozdiel medzi priemernými aprílovými teplotami medzi obdobiami 1991–2014 a 1961–1990 bol na meteorologickej stanici Bratislava-letisko, kde dosiahol hodnotu $1,3^{\circ}C$. Podobne vzrástla dlhodobá priemerná mesačná teplota vzduchu v mesiaci apríl aj na staniciach Hurbanovo a Košice-letisko o $1,2^{\circ}C$. Tento vzrast je ilustrovaný aj na časovom rade aprílových priemerov teploty vzduchu (Obr. 5). Podobný rozdiel je na meteorologických staniciach aj v mesiaci máj (o $1,1^{\circ}C$).

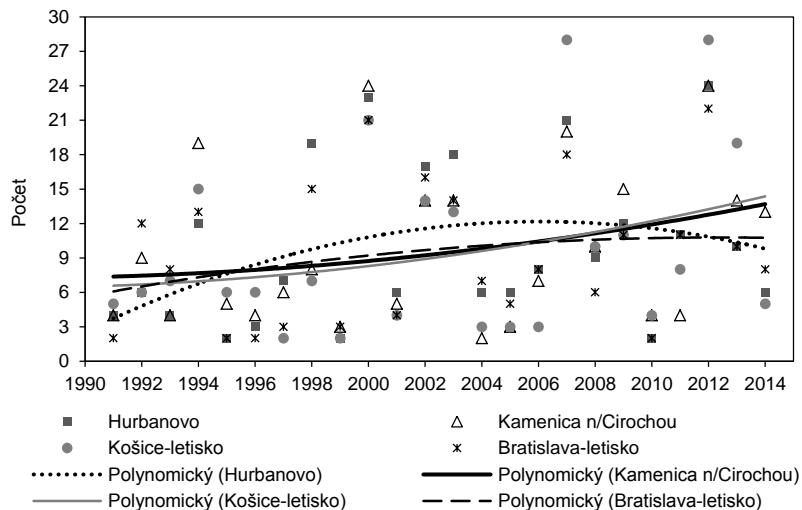
V letných mesiacoch júl a august vzrástla priemerná mesačná teplota vzduchu vo vyššie uvádzaných porovnávaných obdobiach na všetkých analyzovaných staniciach o $1,6^{\circ}C$, až o $1,8^{\circ}C$. Príklad vzrastu teploty vzduchu v lete na staniciach Piešťany a Kamenica nad Cirochou je dokumentovaný na obrázku 6.

Ak by sme hodnotili dynamiku otepľovania v priebehu posledných približne 25 rokov, tak môžeme konštatovať,

že v posledných rokoch je akcelerácia otepľovania v regiónoch východného Slovenska ešte väčšia ako v regiónoch západného Slovenska. V nížinách juhozápadného Slovenska bol v procese otepľovania prelomovým obdobím začiatok 90-tych rokov 20. storočia. Na východe Slovenska sa podobný stav prejavil neskôr, až v priebehu prvej a druhej dekády 21. storočia. Pekným príkladom je počet rekordov maximálnej dennej teploty vzduchu pre jednotlivé dni roka prekonaných v období 1991–2014 na vybraných staniciach Slovenska oproti obdobiu 1961–1990 (Obr. 7). Na začiatku obdobia výrazného vzostupu teploty vzduchu sa výskyt rekordov maximálnej dennej teploty vzduchu sústredoval predovšetkým do regiónu juhozápadného Slovenska. V súčasnosti sa výskyt týchto rekordov sústreduje v regiónoch východného Slovenska. Pozoruhodné je, že ich výskyt je ešte vyšší ako bol v predchádzajúcich rokoch dosiahnutý v tradične teplých oblastiach juhozápadu SR.

Obrázok 7.
Počet rekordov maximálnej dennnej teploty vzduchu prekonaných za obdobie 1991 – 2014 na vybraných staniciach Slovenska v porovnaní s normálovým obdobím 1961 – 1990.

Figure 7.
Number of maximum daily temperature records (excesses of the highest maximum daily temperature) in selected stations in the period 1991 – 2014 (comparing to the normal period 1961 – 1990).



Rôzna výraznosť trendov priemernej mesačnej teploty vzduchu v jednotlivých mesiacoch sa prejavila aj v ročných obdobiach, v chladnom a teplom polroku (Tab.1). Vplyvom nevýrazného zostupného, resp. nevýrazného vzostupného trendu v mesiacoch september a október je na Slovensku málo preukázateľný vzostup teploty vzduchu v jesene. Príčiny uvedených trendov vo väčšej časti jesene treba pravdepodobne hľadať vo veľkopriestorovej cirkulácii vzduchu v širšom priestore Európy. Jar, ako ročné obdobie, vykazuje oveľa väčší vzostup priemernej teploty vzduchu ako jeseň, a to vďaka tomu, že v apríli a máji je oteplenie veľmi výrazné. Tento vzostup je z časti kompenzovaný iba veľmi slabým oteplením v marci. Podobne je tomu aj v zime, kedy január vykazuje vzostup teploty vzduchu porovnatelný s letnými mesiacmi. Avšak mesiac december vykazuje iba nepatrny vzostup teploty vzduchu. Dôsledky sa prejavujú napríklad aj v počte ľadových ($T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$) a arktických ($T_{\max} \leq -10^{\circ}\text{C}$) dní, ktoré v Hurbanove v analyzovanom období zaznamenali najzretelenejší pokles práve v mesiaci január. V tejto súvislosti treba zdôrazniť, že naposledy bol v Hurbanove arktický deň zaregistrovaný v roku 1987 (Obr. 8).

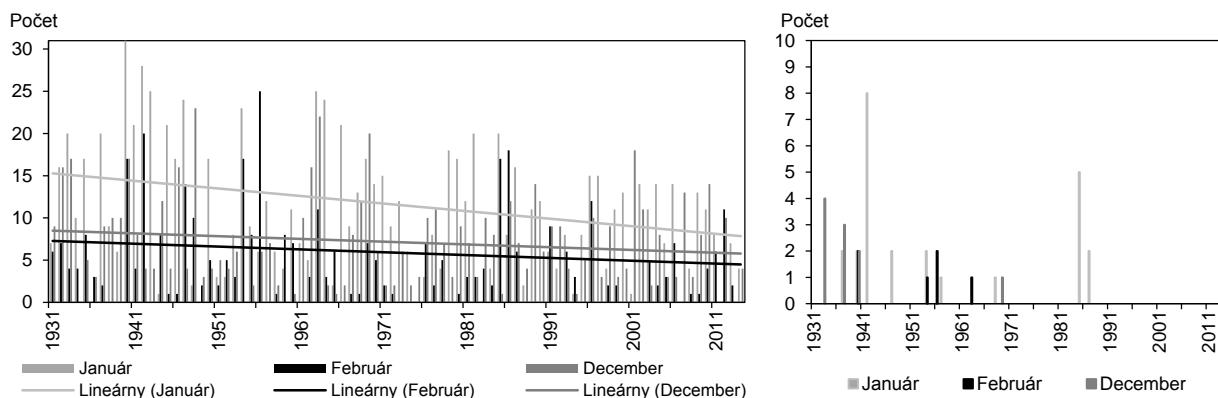
Uvedené analýzy dobre korešpondujú s výsledkami iných klimatologických prác z meteorologickej merania

na konci 20. storočia a začiatku 21. storočia (napr. Faško a kol., 2013). Z nich vyplýva, že sa málo prejavujú prechodné ročné obdobia. V priebehu zimy je paradoxne často relatívne veľmi teplo práve v období, kedy by zima u nás mala vrcholiť. Citel'ným dôsledkom bývajú potom výraznejšie prechody počasia v priebehu krátkeho časového obdobia počas jesene, kedy sa charakter počasia môže zmeniť z neskoro letného až na takmer zimný. Obdobné stavy sú známe aj na jar, kedy zimný charakter počasia na konci marca a na začiatku apríla pomerne často strieda letný charakter počasia v druhej polovici apríla (Pecho a kol., 2010a).

Najvyššie rozdiely teploty vzduchu medzi obdobiami 1991 – 2014 a 1961 – 1990 boli jednoznačne zaznamenané v lete ($1,6^{\circ}\text{C}$), a to na celom území Slovenska. Rozdiel v porovnaní s jeseňou dosiahol až $1,1^{\circ}\text{C}$ pri priestorovej hodnote. Tak, ako má dominantné postavenie v náreste teploty vzduchu medzi ročnými obdobiami leto, tak je dominantný aj teplý polrok v porovnaní s chladným polrokom (Tab. 2), čo ilustruje aj obrázok 9. V teplom polroku sú sústredené všetky mesiace, ktoré mali najvýraznejšie vzostupné trendy priemernej mesačnej teploty vzduchu (apríl, máj, jún, júl, august), kým v chladnom polroku je takýmto mesiacom iba január.

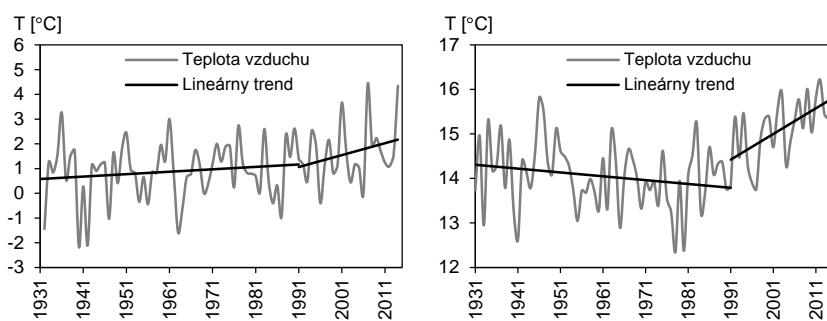
Obrázok 8. Počet ľadových ($T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$, vľavo) a arktických dní ($T_{\max} \leq -10^{\circ}\text{C}$, vpravo) v období 1931 – 2014 na meteorologickej stanici Hurbanovo v mesiacoch január, február, december.

Figure 8. Number of ice ($T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$, left) and arctic days ($T_{\max} \leq -10^{\circ}\text{C}$, right) in months December, January and February in Hurbanovo in the period 1931 – 2014.



Obrázok 9.
Priemerná priestorová teplota vzduchu v chladnom (vľavo) a teplom (vpravo) polroku v období 1931 – 2014 na území Slovenska.

Figure 9.
Spatial average air temperature in cold (left) and warm (right) half-year in whole Slovakia in the period 1931 – 2014.



Atmosférické zrážky

V ďalšej časti príspevku sa pozrieme na to, aké sú na Slovensku v normálowych obdobiach od roku 1931 zachytené trendy pri atmosférických zrážkach. Atmosférické zrážky vykazujú zložitejšie správanie, či už v ročnom režime, ako aj v priestorovej premenlivosti.

Pri normáloch a dlhodobých priemeroch priestorových úhrnov zrážok boli medzi jednotlivými analyzovanými obdobiami výraznejšie rozdiely iba v júli (Tab. 3), čo ilustruje aj obrázok 10.

Na konci 20. storočia a začiatku 21. storočia bolo v tomto mesiaci zaregistrovaných niekoľko zrážkovo významných poveternostných situácií, ktoré výstupili až do povodní. Dôležitú úlohu zohrávali v tomto mesiaci pravdepodobne aj väčšie priestorové rozšírenie búrok a ich intenzita, čoho dôsledkom sú tzv. bleskové povodne, napr. v roku 1997, 1998, 1999, 2001, 2004, 2005 (Faško a kol., 2006).

Rozdiely medzi normálmi, resp. dlhodobými priemermi úhrnov zrážok pre jednotlivé zrážkomerné stanice vykazujú v analyzovaných obdobiach určité zvláštnosti. Tie sú, okrem iného, podmienené polohou zrážkomernej stanice voči vzduchovým hmotám prinášajúcim zrážky, ale aj zoslabením, resp. zvýraznením príslušného zrážkovo významného poveternostného typu (Lapin a kol., 1995). Príkladom týchto javov je skutočnosť, že na konci prvej a na začiatku druhej dekády 21. storočia sa začali podieľať na celkovom úhrne zrážok na Slovensku viac ako pred tým, poveternostné situácie, ktoré mali pôvod v tlakových nížach tvoriacich sa v Stredomorí. To spôsobilo, že v roku 2010 boli zaznamenané rekordné ročné úhrny zrážok v južných oblastiach Slovenska (Pecho a kol., 2010), čo je dokumentované na obrázku 11.

Obrázok 11.
Ročná suma atmosférických zrážok v období 1931 – 2014 na meteorologickej stanici Rimavská Sobota (vľavo) a Hurbanovo (vpravo).

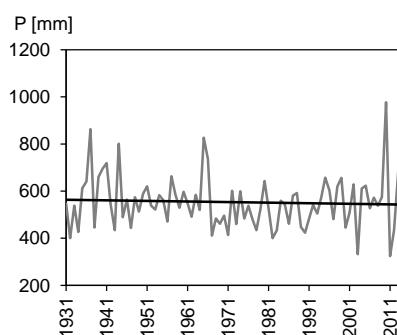
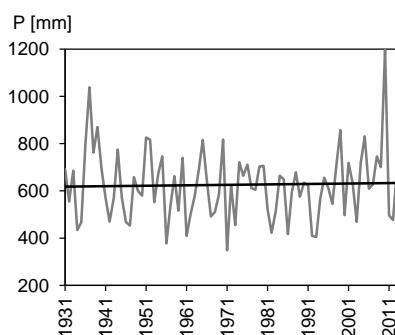
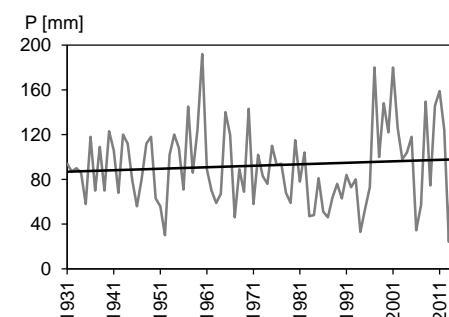
Figure 11.
Annual precipitation total in Rimavská Sobota (left) and Hurbanovo (right) in the period 1931 – 2014.

V dôsledku výskytu obdobných synoptických situácií sa zimná sezóna 2012/2013 vyznačovala výdatnými zrážkami na juhovýchodnom Slovensku a v južnej polovici stredného Slovenska. V niektorých častiach týchto regiónov bolo v uvedenej zimnej sezóne aj mimoriadne veľa snehu (Matejovič a Pecho, 2013).

Vývoj zrážkových pomerov na Slovensku je zložitý. Pri bilancii ročných úhrnov zrážok za normállové obdobia sa môže zdať, že sa nič mimoriadne nedeje (Tab. 3, Obr. 12). Ročný režim hodnôt časových radov zrážok sa však mení. V obdobiach výskytu zrážok častejšie prší, resp. sneží s vyššou intenzitou, v porovnaní s minulosťou. Toto má vplyv na to, že začínajú pribúdať mesiace s mimoriadne nadnormálnymi a mimoriadne podnormálnymi úhrnmi zrážok, na úkor mesiacov s normálnymi zrážkami (Faško, 2012; Faltán a kol., 2014). Kontrastnejšie potom vyznieva porovnanie zrážkových a bezzážkových období.

Obrázok 10. Priestorová suma atmosférických zrážok v júli v období 1931 – 2014 na území Slovenska.

Figure 10. Spatial precipitation totals in July in the period 1931 – 2014 in Slovakia.



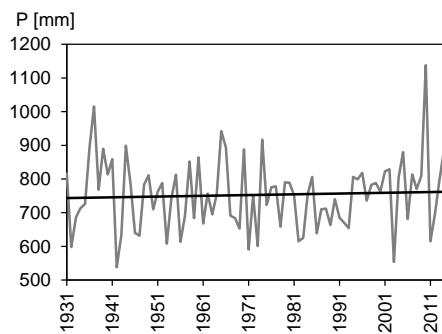
Tabuľka 3. Priestorové hodnoty charakteristík atmosférických zrážok v rôznych obdobiach pre Slovensko.

Table 3. Spatial average values of average precipitation totals in Slovakia in different seasons.

Obdobie	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Jar	Leto	Jeseň	Zima	TP	CHP
1931 – 1960	44	44	45	48	76	93	95	82	53	59	63	52	754	169	270	176	139	447	306
1961 – 1990	44	42	41	53	79	93	80	78	57	51	63	55	734	172	251	171	139	440	293
1961 – 2010	44	42	44	54	79	92	89	79	61	54	62	54	752	177	259	176	139	453	299
1991 – 2014	47	42	49	52	81	91	104	77	66	58	57	51	775	182	272	181	142	471	308

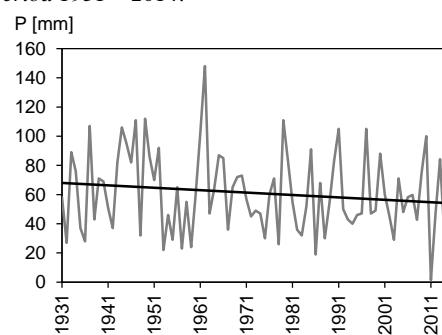
Obrázok 12. Priestorová ročná suma atmosférických zrážok v období 1931 – 2014 na území Slovenska.

Figure 12. Spatial annual precipitation totals in Slovakia in the period 1931 – 2014.



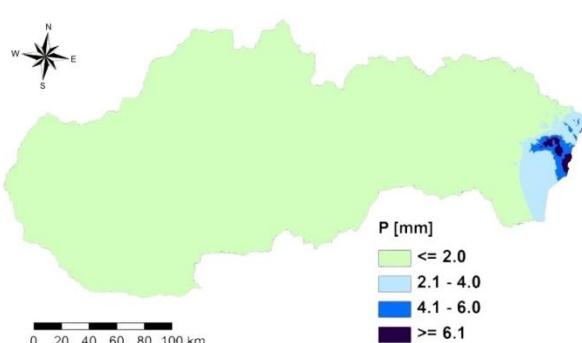
Obrázok 13. Priestorová suma atmosférických zrážok v novembri v období 1931 – 2014 na území Slovenska.

Figure 13. Spatial precipitation total in Slovakia in November in the period 1931 – 2014.



Obrázok 14. Mapa mesačného úhrnu atmosférických zrážok na území Slovenska za november 2011.

Figure 14. Monthly precipitation totals in November 2011 in Slovakia.



Jednotlivé zrážkovo výdatné situácie z hľadiska svojho priestorového dosahu majú v našich geografických podmienkach svoje špecifiku. Pri výskytu dlhších bezzážľubových období, alebo v období s nedostatkom zrážok sa v porovnaní s minulosťou rozširuje ich priestorový rozsah aj do tradične vlhkejších oblastí Slovenska (Matejovič, 2011). Príkladom môže byť mesiac november 2011, ktorý sa vyznačoval extrémnym nedostatkom zrážok na celom území Slovenska (Obr. 13 a 14).

Klimatická klasifikácia územia Slovenska

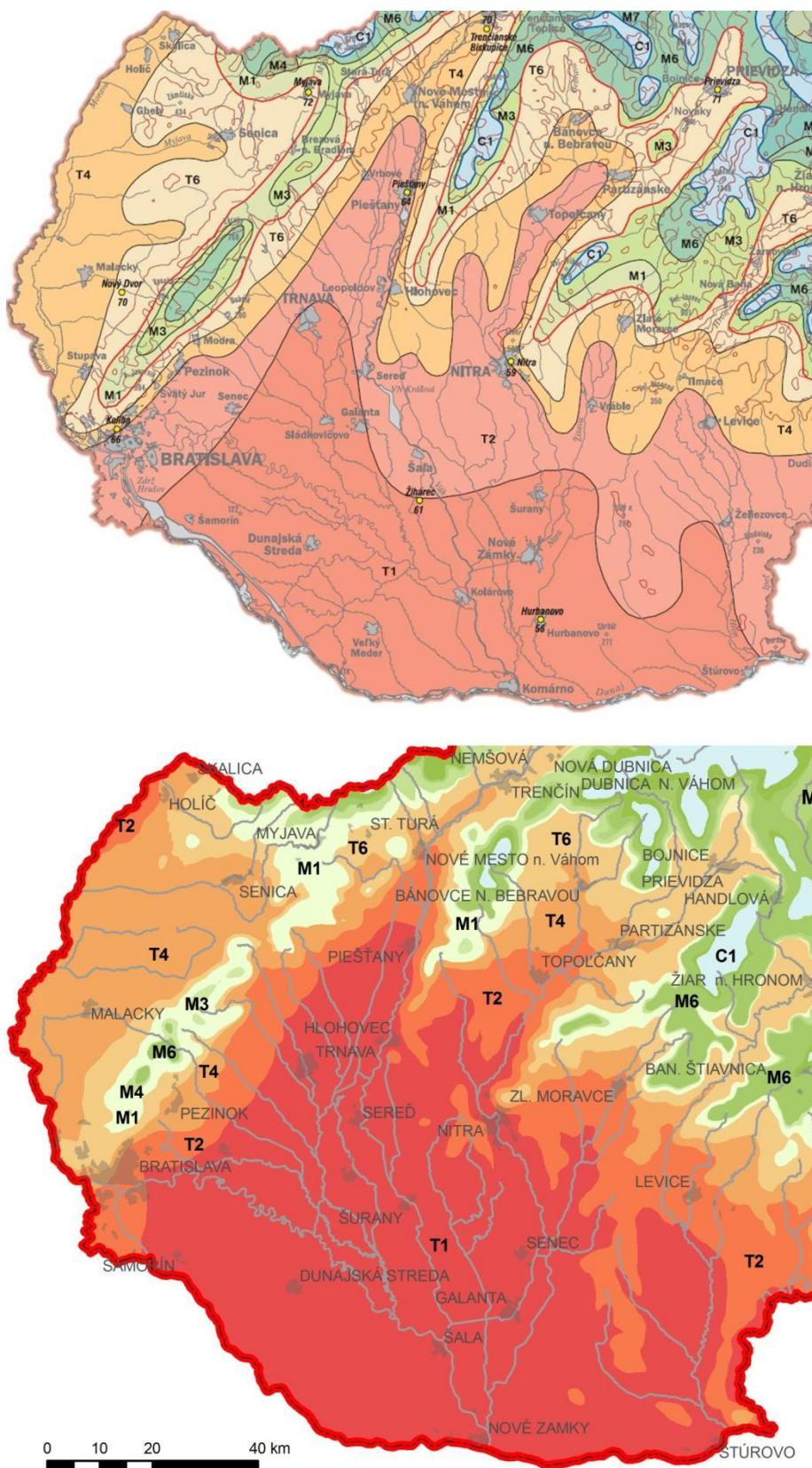
Z porovnania rozloženia klimatických oblastí na Slovensku medzi dvoma porovnávanými obdobiami 1961 – 1990 (Atlas krajiny, 2002) a 1961 – 2010 (Klimatický atlas Slovenska, 2015) vyplýva, že došlo k výraznejším posunom pri niektorých klimatických oblastiach a okrskoch. Keďže sa tento článok zameriava najmä na nízinné a južné kotlinové územia Slovenska, ktoré patria do teplej oblasti, popísané budú posuny práve okrskov v rámci tejto oblasti. Tie boli zaznamenané najmä v dôsledku zmien teplotných pomerov v predmetných územiaciach. Priemerná januárová teplota vzduchu v Hurbanove sa pri porovnaní období zmenila z $-1,5^{\circ}\text{C}$ na $-1,0^{\circ}\text{C}$. Podobné zmeny boli pozorované aj na stanicach Rimavská Sobota, Košice, Kamenica nad Cirochou a ľ. K zmene medzi uvedenými obdobiami došlo aj pri priemernej júlovej teplote vzduchu, ktorá vzrástla z $20,2^{\circ}\text{C}$ na $20,8^{\circ}\text{C}$ v Hurbanove, z $19,4^{\circ}\text{C}$ na $20,2^{\circ}\text{C}$ v Rimavskej Sobote a z $19,0^{\circ}\text{C}$ na $19,6^{\circ}\text{C}$ v Košiciach. Menil sa aj priemerný počet letných dní počas roka. Ich nárast predstavoval od štyroch v Hurbanove a Kamenici až po šesť dní v okolí Žiliny (z priemerných 48 dní v období 1961 – 2010 na priemerný počet 54 dní v období 1981 – 2010) a sedem dní v okolí Rimavskej Soboty.

Teplá oblasť sa vysunula Považím od Ilavy až po Žilinu a Zvolenskou kotlinu až za Banskú Bystricu vplyvom teplejších podmienok v lete. Región stredného Považia má však stále dostatok zrážok, čo udržuje hodnoty Iz kladné, a týmto vysunutím teplej oblasti tu vzniká klimatický okrsek T8, ktorý tu nebol v predchádzajúcim období zastúpený. Rovnaká situácia je v západnej časti Horehronia a severovýchodne od Kamenice nad Cirochou. Januárové teploty sú na tomto území stále nízke, čo po rozšírení teplej oblasti do týchto regiónov podmienilo zastúpenie ďalšieho teplého klimatického okrsku T9.

Došlo aj k zmenám v rozdelení okrskov vo vnútri oblasti. Najsúčasťnejší okrsek T1 sa rozšíril smerom na sever a v období 1961 – 2010 už zaberal celú Podunajskú nížinu (Obr. 15), s výnimkou Hronskej a Ipeľskej pahorkatiny.

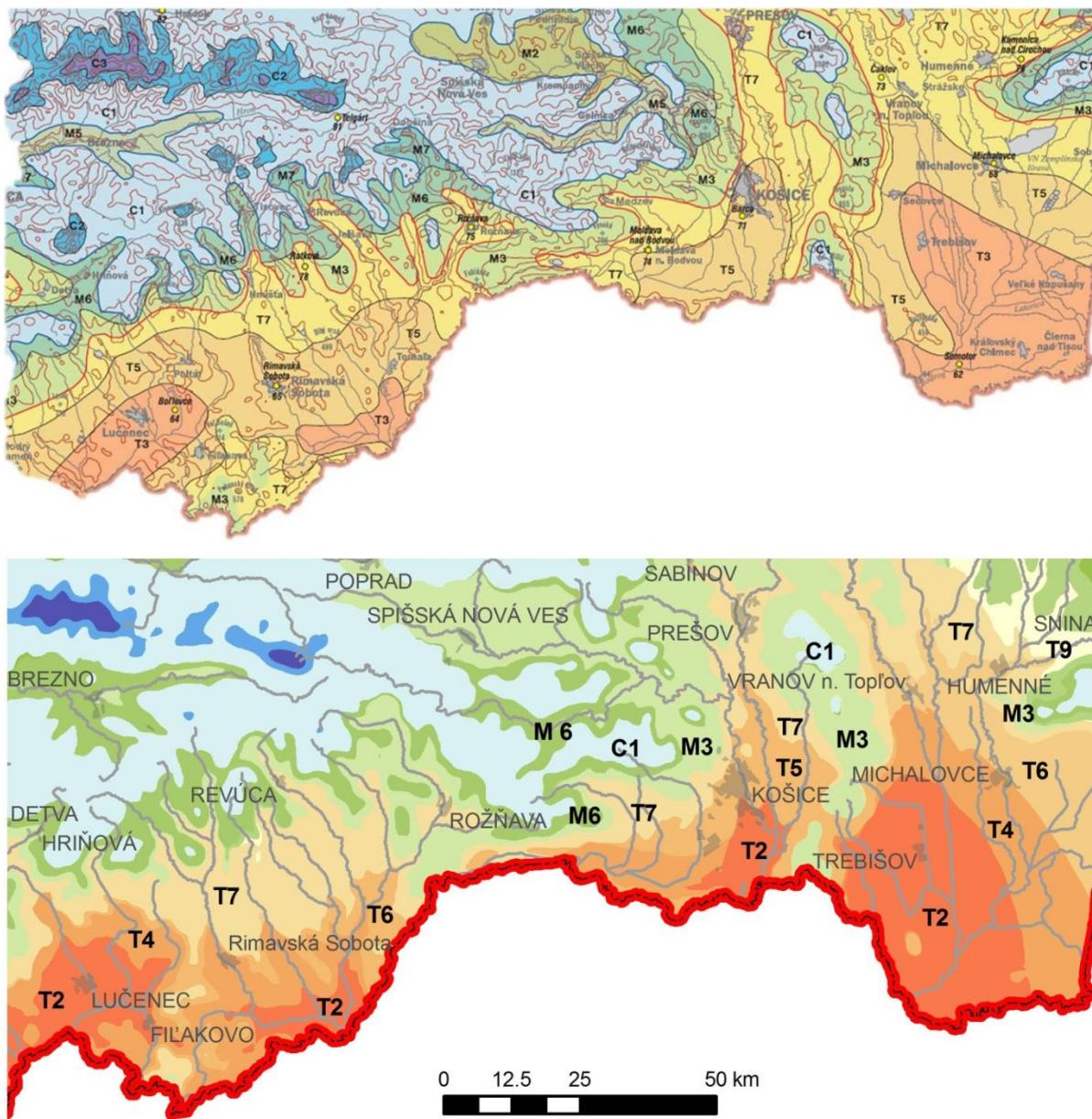
Obrázok 15. Klimatické okrsky na Podunajskej nížine a Záhorskej nížine v období 1961 – 1990 (hora) a v období 1961 – 2010 (dole).

Figure 15. Climate sub-regions in the Podunajská nížina lowland in the period 1961–1990 (Landscape Atlas of the Slovak Republic, 2002) (top) and in the period 1961–2010 (bottom).



Obrázok 16. Klimatické okrsky na Juhoslovenskej a Východoslovenskej nížine v období 1961 – 1990 (hora) a v období 1961 – 2010 (dole).

Figure 16. Climate sub-regions in the Juhoslovenská nížina lowland and Východoslovenská nížina lowland in the period 1961 – 1990 (Landscape Atlas of the Slovak Republic, 2002) (top) and in the period 1961 – 2010.



Ako sme už uvádzali v predchádzajúcej podkapitole, nie je to dôsledkom poklesu úhrnov zrážok v teplom polroku, ale rastúcou teplotou, ktorá podmieňuje vyšší výpar. To zapríčinuje pokles Končekovho indexu zavlaženia v porovnaní s obdobím 1961 – 1990. Z tých istých dôvodov sa vysušuje aj východná polovica Záhorie, kde bol mierne vlhký okrsok T6 nahradený mierne suchým okrskom T4.

Zmena teplotných pomero, konkrétnie nárast priemerných januárových teplôt, popísaný vyšie v článku, bol preukázaný na všetkých analyzovaných meteorologických staniciach. Na Východoslovenskej nížine došlo k zmene začlenenia z teplého, suchého okrsku s chladnou zimou T3, do teplého, suchého okrsku s miernou zimou T2. Rovnaká situácia nastala aj v širšom okolí Lučenca, v dolnej časti povedia Rimavy a Slanej (Obr. 16). V Rimavskej Sobote stúpla

priemerná januárová teplota vzduchu z $-3,7^{\circ}\text{C}$ v období 1961 – 1990 na -3°C v období 1961 – 2010. Kombináciou zmien v Iz a v teplotných pomeroch vznikli zmeny v klasifikácii aj v celej Košickej kotline. Nárastom teploty vzduchu v teplom polroku došlo k vysušovaniu územia, nárastom priemerných januárových teplôt vzduchu v Košiciach na hodnotu $-2,9^{\circ}\text{C}$ ($-3,5^{\circ}\text{C}$ v období 1961 – 1990) došlo k zmene charakteru zimy z chladnej na mierne teplú. Teplý, mierne vlhký okrsok s chladnou zimou (T7) sa nachádza už len v najsevernejšej časti kotliny. Výrazne bolo zmenšené aj územie rozšírenia teplého, mierne suchého okrsku s chladnou zimou (T5), ktorý bol v okolí Moldavy nad Bodvou nahradený teplým, mierne suchým okrskom s miernou zimou (T4) a územie dolného toku Hornádu je zaradené dokonca do teplého, suchého okrsku s miernou zimou (T2).

ZÁVER

Analýza časových radov charakterísk teploty vzduchu z meteorologického observatória v Hurbanove (Faško a Švec, 2013) bola podnetom pre úvahy, či podobné tendencie existujú aj v časových radoch teplotných charakterísk na ostatných meteorologických staniciach Slovenska. Trendy z hurbanovského časového radu sa preukázali aj v ostatných nížinných a južných kotlinových polohách Slovenska. Vyšší výskyt rekordov na východnom Slovensku indikuje možné výraznejšie vzostupné trendy v priebehu 21. storočia v regiónoch východného Slovenska ako v oblasti juhozápadu Slovenska. Na juhozápadnom Slovensku boli tieto výrazné vzostupné trendy zaregistrované už na konci 20. storočia (Bochníček a kol., 2015).

Atmosférické zrážky v porovnaní s teplotou vzduchu majú trendy svojich charakterísk zložitejšie. Prejavujú sa v nich regionálne zvláštnosti, oceanita, resp. kontinentalita klímy, typ ročného režimu zrážok, zonalita, resp. meridionalita pri prúdení vzduchových hmôt prinášajúcich vlahu a zrážky. Pri celkovom pohľade na atmosférické zrážky sa popri zvýšenej medziročnej variabilite v posledných 20-tich rokoch dostáva do popredia najmä zmena ich ročného režimu a veľmi kontrastné striedanie období bohatých a chudobných na zrážky (Faško, 2012).

Mapa klimatických oblastí podľa regionálnej konvenčnej Končekovej klasifikácie je osvedčenou klasifikáciou pre naše územie, dostatočne podrobne popisujúcou jednotlivé klimatické podoblasti a okrsky. Dokumentované územné zmeny okrskov pre dve rozdielne spracované obdobia svedčia o tom, že táto klasifikácia sa dá použiť aj pri sledovaní klimatickej zmeny na Slovensku. V nížinných polohách západného Slovenska boli pozorované výsudné tendencie, ktoré nie sú spôsobené poklesom úhrnu zrážok, ale nárastom teploty vzduchu, ktorá podporuje nárast evapotranspirácie. Zmeny v rozložení klimatických okrskoch sú spôsobené nárastom teploty vzduchu v januári, čo je najviac viditeľné na východe a juhu stredného Slovenska. Zistené zmeny môžu do určitej miery vyplývať z rozdielnej metodiky tvorby mapy klimatických oblastí v Atlase krajiny SR (2002) a Klimatickom atlase Slovenska (2015). Avšak pozorované zmeny v priemernej teplote vzduchu v jednotlivých mesiacoch sú tak výrazné, že ich vplyv na výsledné rozšírenie klimatických oblastí a okrskov výrazne prevyšuje vplyv metodiky tvorby ich mapy.

Poděkování

Táto práca bola časťou projektu: „Aplikovaný výskum metód na určovanie klimatických a hydrologických návrhových veličín“ ITMS 26220220132 financovaného zo štrukturálnych fondov EU. Príspevok bol podporený Agentúrou pre vedu a výskum (APVV) podľa zmluvy č. APVV-0303-11.

LITERATÚRA

Bochníček, O.-Švec, M.-Faško, P.-Kajaba, P.-Šťastný, P., 2015, Year 2014 - the warmest year in the history of meteorological measurements in Slovakia. In: EGU General Assembly 2015. Vienna, Austria, 12–17 April 2015.

- Faltan, V.-Janský, L.-Polčák, N.-Hazlinger, M.-Madajová, M.-Sládeček, J.-Burian, L., 2014, Urbanisticko-krajinská štúdia na ochranu proti prívalovým dažďom v Malokarpatskej oblasti. Univerzita Komenského, Bratislava, 87 s.
- Faško, P.-Pecho, J.-Mikulová, K.-Šťastný, P., 2006, Prípady vysokých denných, mesačných a sezónnych úhrnov atmosférických zrážok na východnom Slovensku na konci 20. a na začiatku 21. storočia v kontexte s historickými údajmi. In: International Conference “Ochrana pred povodňami” (Conference Proceeding). Podbanské, Slovakia, 4–7 December 2006.
- Faško, P., 2012, Trendy súčasnej klimatickej zmeny na Slovensku. In: Meteorológia a klimatológia vo vyučovaní, III. Seminár pre učiteľov základných a stredných škôl (Conference Proceeding). Stará Lesná, Slovakia, 13–16 June 2012.
- Faško, P.-Švec, M., 2013, The average monthly, seasonal and annual air temperature in Hurbanovo since 1871. In: International Scientific Conference “Changes and adaptation strategies”. Skalica, Slovakia, 9–11 September 2013.
- 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. In: 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM). Reading, United Kingdom, 9–13 September 2013.
- Klimatický atlas Slovenska, 2015 Banská Bystrica, Slovenský hydrometeorologický ústav, 228 s.
- Konček, M.-Petrovič, Š., 1957, Klimatické oblasti Česko-Slovenska. Meteorologické zprávy, X, č.5, 113–119.
- Landscape Atlas of the Slovak Republic, 2002, Bratislava, Ministry of Environment of the Slovak Republic; Banská Bystrica, Slovak Environmental Agency, 344 s.
- Lapin, M.-Nieplová, E.-Faško, P. (1995): Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. Národný klimatický program, Vol. 3/95, SHMÚ Bratislava, 19–55.
- Matejovič, P., 2011, Jeseň 2011 [online]. Fórum pre vedu a umenie, December 03, 2011 [cit. 15.03.2015]. Available at: <http://www.nun.sk/jesen2011.htm>.
- Matejovič, P.-Pecho, J., 2013, Klimatologické zhodnotenie zimy 2012/2013 [online]. Fórum pre vedu a umenie, March 29, 2013 [cit. 15.03.2015]. Available at: <http://www.nun.sk/zima2013.htm>.
- Pecho, J.-Faško, P.-Lapin, M.-Kajaba, P.-Mikulová, K.-Šťastný, P., 2010, Extrémne atmosférické zrážky na jar a na začiatku leta 2010 na Slovensku. Meteorologický časopis, Vol. 13, 69–80.
- Pecho, J.-Faško, P.-Mikulová, K.-Šťastný, P.-Nejedlík, P.-Košťálová, J., 2010a, Comparative analysis of selected snow cover characteristics in Slovakia within the 1950/1951-1979-1980 and 1980/1981-2009/2010 winters. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 12.
- Petrovič, Š.-Šoltis, J., 1984, Zborník prác SHMÚ č. 23, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, 218 s.
- Sobišek, B. (ed.), 1993, Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Praha, 594 s.
- Szenthimrey, T., 2003, Homogenization software MASHv3.03. Online available on: http://www.met.hu/en/omsz/palyazatok_projektek/carpatclim/.
- Šamaj, F.-Valovič, Š., 1982, Priestorové úhrny zrážok na Slovensku (1881–1980). Meteorologické zprávy, No. 4, 108–118.
- Výberčí, D., 2012, Vlny horúčav na Slovensku v období 1951–2010 a ich dopady na úmrtnosť od roku 1996 (Master thesis). Univerzita Komenského, Bratislava, 67 s.

OPTICKÉ VLASTNOSTI ATMOSFÉRICKÝCH AEROSÓLOV V ULTRAFIALOVEJ OBLASTI SLNEČNÉHO SPEKTRA

PETER HRABČÁK

Slovenský hydrometeorologický ústav, Aerologické a radiačné centrum Gánovce, 058 01 Poprad-Gánovce,
peter.hrabcak@shmu.sk

Submitted study is focused on the optical properties of atmospheric aerosols in the ultraviolet solar spectrum, mainly on their optical depth. It was determined since 2003 for wavelengths 306.3 nm, 310.1 nm, 313.5 nm, 316.8 nm and 320.1 nm by using Brewer ozone spectrophotometer measurements at Gánovce near town of Poprad. Results for this location offer an overview of inter-annual changes and monthly variability during the year. The optical depth of the aerosols for mentioned wavelengths was compared with the optical depth of the total atmospheric ozone. Ground measurements of aerosol optical depth were further compared with satellite data. Moreover, satellite measurements of optical depth were supplemented by parameter of single scattering albedo and they are available for the same area and for wavelengths 342.5 nm and 388 nm since 2004. The study also includes a detailed description of cloud screening which provides a selection of only such measurements that are not affected by clouds.

Predkladaná práca je zameraná na optické vlastnosti atmosférických aerosólov v ultrafialovej oblasti slnečného spektra, najmä na ich optickú hrúbku. Tá bola určená od roku 2003 pre vlnové dĺžky 306,3 nm, 310,1 nm, 313,5 nm, 316,8 nm a 320,1 nm pomocou meraní Brewerovho ozónového spektrofotometra v Gánovciach pri Poprade. Výsledky pre danú lokalitu ponúkajú prehľad medziročných zmien a medzimesačnej variabilite v priebehu roka. Optická hrúbka aerosólov pre jednotlivé vlnové dĺžky bola porovnaná aj s optickou hrúbkou celkového atmosférického ozónu. Pozemné merania optickej hrúbky aerosólov boli ďalej porovnané so satelitnými údajmi. Satelitné merania optickej hrúbky boli navyše doplnené o parameter albeda jednoduchého rozptylu a sú k dispozícii pre rovnakú oblasť a pre vlnové dĺžky 342,5 nm a 388 nm od roku 2004. Práca obsahuje aj detailný popis výberu vhodných údajov, ktorý zabezpečuje výber iba takých meraní, ktoré nie sú ovplyvnené oblačnosťou.

Key words: atmospheric aerosols, optical depth, single scattering albedo

ÚVOD

Svetová meteorologická organizácia pojednáva o aerosóloch ako suspenzii pevných častíc, kvapalných častíc alebo pevných a kvapalných častíc v plynnom médiu (WMO, 2008). Jednou zo základných charakteristik, či už kvapalných alebo tuhých aerosólov je veľkosť častíc. Polomer takýchto častíc sa pohybuje od niekoľko nm do stoviek μm . Sú väčšie než typické atmosférické ióny, ktorých priemer je zvyčajne okolo 0,5 nm. Môžu tiež byť rovnako veľké ako kvapky tvoriace oblaky. V princípe je možné tvrdiť, že rôzne zdroje produkujú aj častice rôznej veľkosti, ktoré k nim prislúchajú. Experimentálny limit pre zber aerosólov najmenších rozmerov je ich veľkosť, ktorej spodnú hranicu charakterizuje polomer 1,5 nm. Táto hranica tiež oddeluje veľké molekuly na jednej strane a malé aerosóly na strane druhej. Všetky častice s polomerom menším ako 0,5 μm bývajú niekedy označené ako jemné častice (fine mode particles) a všetky častice väčšie ako 0,5 μm ako hrubozrnné častice (coarse mode particles) [1].

Dalšou významnou charakteristikou je zloženie aerosólov podľa ich pôvodu. Rozlišujeme tu niekoľko tried: morská soľ, minerálny prach, sulfáty, nitráty, organický uhlík, sadze, no vo väčšine prípadov sa stretávame so

zmiešanými aerosólmi. Je tiež dôležité či ide o prirodzený alebo antropogénny zdroj. Obsah aerosólov v atmosfére je determinovaný najmä blízkosťou zdroja a atmosfériskou cirkuláciou. Z týchto dôvodov je globálna a regionálna distribúcia častíc veľmi variabilná s časom a je tiež nehomogénnna v priestore.

Niet pochýb o tom, že aerosóly majú významný vplyv na fyzikálne a chemické procesy prebiehajúce v atmosfére. Ovplyvňujú najmä chemické zloženie troposféry (v určitých prípadoch aj stratosféry, najmä pokial' ide o veľké sopečné erupcie, prípadne lety lietadiel v stratosfére), sú schopné znížovať viditeľnosť, a v mnohých prípadoch významne vplývajú aj na ľudské zdravie. Prítomnosť aerosólov v atmosfére má tiež dopad na energetickú bilanciu Zeme, a to priamym, polopriamym a nepriamym spôsobom. Pod priamym spôsobom je myšlený rozptyl a absorpcia krátkovlnného a dlhovlnného žiarenia. Absorpcia žiarenia následne vedie k otepľovaniu tých častí atmosféry, kde sa aerosóly nachádzajú (najmä hraničnej vrstvy atmosféry), pričom vyššia teplota následne vedie k vyparovaniu oblačných vrstiev.

Poslednou vetou bol v stručnosti popísaný polopriamý spôsob, ktorého následkom je väčšia hustota toku slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch. Vyššia teplota môže tiež viest' k zmene teplotného zvrstvenia atmosféry, čo následne ovplyvňuje vertikálne a horizont-

tálne pohyby vzduchu v atmosfére. Nepriamy efekt sa týka schopnosti aerosólov pôsobiť ako kondenzačné jadrá alebo ako ľadové jadrá, čo ovplyvňuje mikrofyzikálne a optické vlastnosti oblakov. Ide pri tom o zmenu ich radiačných vlastností, ďalej zmenu vlastností atmosférických zrážok, a tiež sa mení aj doba života oblakov (De Bock et al., 2010). Platí, že zvýšenie počtu oblačných kondenzačných jadier vedie k rastu početnosti oblačných kvapiek a k zmenšeniu ich veľkosti pri daniach podmienkach obsahu vody v atmosfére, čo spôsobuje rast albeda a doby života oblaku (Marenco et al., 2002).

V poslednej dobe sa viaceru štúdiu venovalo priamemu účinku atmosférických aerosólov na ultrafialové slnečné žiarenie (Wilawans et al., 2015; Kumharn et al., 2012). Hustota toku slnečného žiarenia sa vplyvom aerosólov často signifikantne znižuje, najmä v tejto oblasti spektra (Solomon et al., 2007). Bolo zistené, že vo veľmi znečistených urbanizovaných oblastiach môžu antropogénne aerosóly znížiť ultrafialové slnečné žiarenie dopadajúce na zemský povrch až o viac ako 50% (Krotkov et al., 1998; Sellitto et al., 2006). Navyše, v neurbanizovaných oblastiach industrializovaných krajín slnečné UV žiarenie pre oblasť vlnových dĺžok 280–315 nm (UV-B) pokleslo od priemyselnej revolúcie o cca 5–18 % ako dôsledok znečistenia ovzdušia (Liu et al., 1991).

Hlavným cieľom tejto práce je prezentovať vybrané vlastnosti atmosférických aerosólov v ultrafialovej oblasti slnečného spektra pre lokalitu Gánovce pri Poprade. Údaje boli získané pomocou pozemných meraní Brewerovým ozonovým spektrofotometrom a satelitných meraní prostredníctvom prístroja Ozone Monitoring Instrument. Merania Brewerovho ozónového spektrofotometra boli spracované jednou z dostupných metodík a vypočítané hodnoty optickej hrúbky aerosólov sú prezentované v časti Výsledky. Stavanie hodnôt optickej hrúbky celkového ozónu predstavuje vedľajší cieľ tejto práce. Porovnanie zoslabenia ultrafialového slnečného žiarenia aerosólmi a ozónom pre jednotlivé vlnové dĺžky poukazuje na nezanedbateľný príspevok atmosférických aerosólov pri zoslabovaní slnečného UV žiarenia. V časti Výsledky sú ďalej uvedené získané hodnoty optickej hrúbky aerosólov a albeda jednoduchého rozptylu, ktoré sú výsledkom satelitných meraní. Prezentované je aj vzájomné porovnanie pozemných a satelitných meraní.

METODIKA

Použité prístroje

Brewerov ozónový spektrofotometer

Brewerov ozónový spektrofotometer (model MKIV) je vedecký prístroj, ktorý pracuje v ultrafialovej a viditeľnej oblasti slnečného spektra. Merania priameho slnečného žiarenia v UV oblasti vykonáva na tak vybraných vlnových dĺžkach, aby na základe rozličnej absorpcie žiarenia po prechode atmosférou bolo možné odvodiť celkové množstvo ozónu a celkové množstvo oxidu siričitého. Tento

princíp merania pomocou pasívnej atmosférickej diferenciálnej spektroskopie je známy ako tzv. DOAS metóda (Differential optical absorption spectroscopy). Prístroj pomocou svojho optického systému rozkladá slnečné žiarenie dopadajúce na zemský povrch a z ultrafialovej časti jeho spektra vyberá vopred stanovené vlnové dĺžky so silnou a slabšou absorpciou O_3 a SO_2 . Následnou porovnávacou analýzou v matematickom modeli, ktorý popisuje prenos žiarenia v atmosfére, je možné určiť celkové množstvo O_3 a SO_2 vo vertikálnom stĺpci atmosféry medzi jej hornou hranicou a zemským povrhom. Principiálne podobným spôsobom je možné pomocou Brewerovho spektrofotometra odvodiť aj celkové množstvo NO_2 . V tomto prípade prístroj pracuje vo viditeľnej oblasti spektra. Takéto merania sa v Gánovciach vykonávajú iba zriedkavo. Pravidelne sa okrem meraní celkového množstva ozónu a celkového množstva SO_2 vykonávajú aj spektrálne merania globálneho ultrafialového žiarenia v rozsahu od 286,5 nm do 325 nm. Merania priameho slnečného žiarenia je možné využiť aj na určenie optickej hrúbky aerosólov (aerosols optical depth – AOD). V ultrafialovej oblasti slnečného spektra je to realizovateľné pre vlnové dĺžky 306,3 nm, 310,1 nm, 313,5 nm, 316,8 nm a 320,1 nm. Hodnoty celkového množstva O_3 a SO_2 je potrebné poznať pre následný výpočet AOD.

Presnosť prístroja pri určovaní vlnovej dĺžky je $0,006 \pm 0,002$ nm na jeden krok (Sci-Tec, 1999). Po technickej stránke je plynulý chod prístroja zabezpečený pravidelnými testami, kontrolami a servisnou profylaktikou počas kalibrácií. Prístroj je kalibrovaný voči svetovej referenčnej skupine (Brewer Triad), udržiavanej v Environment Canada, prostredníctvom cestovného referenčného prístroja č. 017. Od začiatku meraní (18. 8. 1993) prístroj č. 097, ktorý vlastní SHMÚ, prechádza pravidelnými 2-ročnými kalibráciami a dennými testami pomocou interných lám (ortuťová a štandardná lampa), takže z technického hľadiska možno považovať rad meraní za homogénny (Mišaga, 2012; Sci-Tec, 1999).

OMI – satelit AURA

Ozone Monitoring Instrument (OMI) je súčasťou satelitu AURA, ktorý je prevádzkovany spoločnosťou NASA. Na obežnú dráhu Zeme bol vypustený 15. 7. 2004. Tento satelit má polárnu dráhu letu a je synchrónny so Slnkom, takže ponad rovník preletí viackrát denne a stále v rovnakom miestnom slnečnom čase. Jeho vzdialenosť od zemského povrchu je 708 km až 710 km a jeden oblet Zeme mu trvá približne 99 minút. Celú Zem zosníma za jeden deň a preto nad určitým miestom na povrchu sa za ten čas nachádza iba raz. Prístroj OMI slúži na diaľkové meranie plynov O_3 , NO_2 , SO_2 , BrO , $OCIO$, ale deteguje aj atmosférické aerosóly. Keďže je táto práca zameraná na určovanie AOD pre UV oblasť slnečného spektra, budú použité satelitné merania AOD pre dve vlnové dĺžky v tejto oblasti, a to 342,5 nm a 388 nm. Údaje sú k dispozícii s priestorovým rozlíšením $0,25^\circ$ (to zodpovedá štvorcu s rozmermi cca 28×28 km) [2] [3].

Opis lokality merania

Prístroj Brewerov ozónový spektrofotometer je umiestnený na streche budovy Aerologického a radiačného centra SHMÚ v Gánovciach pri Poprade. Jeho súradnice sú $49,03^{\circ}$ s. š. a $20,32^{\circ}$ v. z. d. a nadmorská výška je 706 m n. m. Merania poskytujú informácie o atmosférických aerosóloch „bodovo“ nad daným miestom. V prípade údajov zo satelitu už nie je možné hovoriť o bodovej informácii, keďže celková plocha z ktorej pochádza má takmer 800 km^2 . Tu preto pôjde skôr o mikro-regionálny pohľad na vybrané optické vlastnosti aerosólov, pri ktorom už môže dochádzať k strate niektorých lokálnych špecifík.

Obsah aerosólov v ovzduší, či už celkové množstvo alebo aj druhové zloženie, determinujú na jednej strane lokálne zdroje a na strane druhej atmosférické prúdenie, ktoré dokáže určiť vzduchovú hmotu spolu s aerosólm premiestniť aj o niekoľko tisíc kilometrov. Vo veľmi ojedinelých prípadoch tu môže ísť napríklad aj o transport saharského prachu alebo sopečného popola z Islandu. Medzi významnejšie lokálne zdroje v oblasti Gánovce patria produkty spaľovania dreva a uhlia v okolitých obciach (najmä v chladnom polroku) a polnohospodárstvo, keďže v tesnej blízkosti stanice sú rozsiahle polnohospodársky obrábané plochy. Často dochádza k odvievaniu holej suchej pôdy alebo aj rastlinných produktov vetrom, keďže lokalita je pomerne veterná. Aj blízkosť mesta Poprad (cca 1,5 km) s asi 53 000 obyvateľmi a rôznymi priemyselnými aktivitami zohráva svoju úlohu.

Výpočty

Výpočet optickej hrúbky aerosólov a celkového ozónu pre Brewerov ozónový spektrofotometer

Všetky charakteristiky získané z Brewerovho ozónového spektrofotometra sú vypočítané pre obdobie od 14. 6. 2003 do 31. 8. 2015. Dôvod prečo sme nepoužili aj staršie merania počnúc rokom 1993 (prístroj je v prevádzke od roku 1993) je nasledovný: pre výpočet optickej hrúbky aerosólov je nevyhnutné poznáť tzv. extraterestriálne konštanty pre každú vlnovú dĺžku zvlášť. Dané konštanty sú prístrojovo závislé a určujú sa pri kalibrácii prístroja raz za dva roky, ale až od roku 2003. Pomocou metódy Langley plot (Kirchhoff et al., 2001) je možné extraterestriálne konštanty dopočítať aj pred rokom 2003, ale to už je úplne iná metodika. Nami použitá metodika používa iba extraterestriálne konštanty určované pri oficiálnej kalibrácii prístroja.

Samotný výpočet optickej hrúbky bol vykonaný pomocou softvéru Brewer Spectrophotometer Aerosol Optical Depth Calculator - O₃Baod v. 5.0 by Martin Stanek [5]. Teoretický základ pre tento softvér tvorí práca Marenco et al. (2002). Použitý softvér hodnoty útlmu neutral density (ND) filtrov používa zvlášť pre každú vlnovú dĺžku. Tieto filtre Brewerov spektrofotometer vyberá automaticky vzhľadom na aktuálnu hustotu toku slnečného žiarenia. ND filtrov a aj vlno-

vých dĺžok je 5, takže súhrne používame 25 útlmových hodnôt. Útlmové hodnoty daných filtrov sa určujú pri kalibrácii prístroja a je nutné surové údaje upraviť so zreteľom na vybraný ND filter. Použitý softvér údaje koriguje aj vzhľadom na každodenné testy pomocou štandardnej lampy, ktoré sú navyše naviazané na dvojročný kalibračný interval.

Na výpočet AOD v prípade pozemných meraní (pri sateľitných meraniach je to podobné, ale zložitejšie) je potrebné aplikovať Beerov-Bouguerov-Lambertovho zákon. Pre merania spektrálnej hustoty toku ultrafialového slnečného žiarenia Brewerovým spektrofotometrom platí:

$$S_{\lambda} = S_{0,\lambda} e^{-m_r \tau_{\lambda}} = S_{0,\lambda} e^{-\mu_{O_3} \tau_{\lambda,O_3} - \mu_r \tau_{\lambda,r} - \mu_a \tau_{\lambda,a} - \mu_{SO_2} \tau_{\lambda,SO_2}}, \quad (1)$$

$$S_{\lambda} = S_{0,\lambda} e^{-\mu_{O_3} \alpha(\lambda, T) \Omega_{O_3} - \mu_r \frac{\beta(\lambda) P}{P_{std}} - \mu_a \tau_{\lambda,a} - \mu_{SO_2} \gamma(\lambda, T) \Omega_{SO_2}}. \quad (2)$$

Zo vzťahu 2 sa následne vyjadri optickej hrúbky aerosólov ako:

$$\tau_{\lambda,a} = \frac{\ln(S_{0,\lambda}) - \ln(S_{\lambda}) - \mu_{O_3} \alpha(\lambda, T) \Omega_{O_3} - \mu_r \frac{\beta(\lambda) P}{P_{std}} - \mu_{SO_2} \gamma(\lambda, T) \Omega_{SO_2}}{\mu_a}, \quad (3)$$

$S_{\lambda}, S_{0,\lambda}$ je hustota toku slnečného žiarenia pre vybranú vlnovú dĺžku vyjadrená počtom fotónov za jednotku času na zemskom povrchu, resp. nad atmosférou (extraterestriálna konšstanta),

$\tau_{\lambda}, \tau_{\lambda,O_3}, \tau_{\lambda,r}, \tau_{\lambda,a}$ a τ_{λ,SO_2} je celková optickej hrúbka, nasleduje optickej hrúbka pre O_3 , Rayleighov rozptyl, aerosóly a SO_2 ,

m_r je celková relatívna optickej hmota,

μ_{O_3} je relatívna optickej hmota ozónovej vrstvy,

$\alpha(\lambda, T)$ je absorpčný koeficient pre ozón pre vlnovú dĺžku λ a teplotu T ,

Ω_{O_3} je celkové množstvo ozónu v Dobsonových jednotkách,

μ_r je relatívna optickej hmota atmosféry pre Rayleighov rozptyl,

$\beta(\lambda)$ je normalizovaná (pre štandardný tlak vzduchu a vertikálny stípec) optickej hrúbka pre Rayleighov rozptyl,

P je tlak v mieste pozorovania (používa sa väčšinou jeho dlhodobý priemer),

P_{std} je štandardný atmosférický tlak (101 325 Pa),

μ_a je relatívna optickej hmota aerosólov,

μ_{SO_2} je relatívna optickej hmota pre SO_2 ,

$\gamma(\lambda, T)$ je spektrálny absorpčný koeficient pre SO_2 ,

Ω_{SO_2} je celkové množstvo SO_2 v Dobsonových jednotkách.

Príspevok SO_2 sa v mnohých prípadoch zanedbáva a vtedy sa rovná nule. Použitý softvér ho ale nezanedbáva. Vidíme tu teda rozdiel oproti článku Marenco et al. (2002), ktorý tvoril teoretický podklad pre používaný softvér. Celková relatívna optická hmota sa vypočíta ako:

$$m_r = \frac{1}{\cos \vartheta}, \quad (4)$$

kde ϑ je zdanlivý zenitový uhol Slnka na oblohe. Detaily ohľadne výpočtu relatívnej optickej hmoty atmosféry pre jednotlivé komponenty μ_{O_3} , μ_r , μ_{SO_2} a μ_a sú prístupné v publikácii Marenco et al. (2002). Extraterestriálna konšanta sa v priebehu roka okolo svojej strednej hodnoty mení vzhľadom na vzdialenosť Zeme od Slnka. Použitý softvér na túto zmenu prihliada. Používa sa nasledujúci korekčný vzťah:

$$s = 1 + 0,033 \cos \frac{2\pi j}{365,25}, \quad (5)$$

kde j je juliánsky deň (poradové číslo dňa v roku) a s je číselný faktor, ktorým sa upravuje extraterestriálna konšanta v priebehu roka. Hľadanú hodnotu AOD získame z vyššie uvedenej rovnice 3 iba za predpokladu poznania všetkých spomenutých členov. Vypočítané hodnoty AOD sú v práci porovnané aj s hodnotami optickej hrúbky ozónu. Jej výpočet je uvedený v nasledujúcej rovnici:

$$\begin{aligned} \tau_{\lambda, O_3} &= \alpha(\lambda, T) \Omega_{O_3} = N \sigma(\lambda, T)_{O_3} V = \\ &= \eta \sigma(\lambda, T)_{O_3} \Omega_{O_3}, \end{aligned} \quad (6)$$

kde N je počet molekúl v jednotkovom objeme, $\sigma(\lambda, T)_{O_3}$ je účinný absorpčný prierez molekuly ozónu (zaužívané je ho vyčíslovať vzhľadom na 1 cm^2), V je objem plynu vo vertikálnom stĺpci jednotkového prierezu (1 cm^2) a n je počet molekúl v objeme určenom 1 DU (Dobsonovou jednotkou) a 1 cm^2 , pre O_3 je to konštanta s hodnotou $n = 2.69 \cdot 10^{16}$ (Schwartz and Warneck, 1995). Hodnotu celkového množstva ozónu získame pomocou meraní Brewerovo spektrofotometra. Účinný absorpčný prierez molekuly ozónu $\sigma(\lambda, T)_{O_3}$ bol získaný na základe meraní University of Bremen [4], Gorshelev et al. (2014) a Serdyuchenko et al. (2014).

Pri výpočte jednotlivých charakteristik sme postupovali nasledovne: denné priemery AOD sú vypočítané ako aritmetický priemer všetkých hodnôt daného dňa (z minimálnej jednej hodnoty). Mesačné priemery sú počítané ako aritmetický priemer tých dní v danom mesiaci, pre ktoré je k dispozícii hodnota AOD. Ročné priemery sú počítané ako väžený aritmetický priemer z jednotlivých mesačných hodnôt. V prípade jasnej oblohy a satelitných meraní je ročný priemer vypočítaný ako priemer všetkých dní v roku, pretože v niektorých mesiacoch bol nulový počet meraní. Horný, resp. dolný extrém priemernej variability je daný ako súčet, resp. rozdiel priemeru z mesačných priemerov daného mesiaca v celom rade pozorovaní a priemernej smerodajnej odchyly.

Satelitné merania

Satelitné údaje optickej hrúbky aerosolov a albeda jednoduchého rozptylu pre vlnové dĺžky 342,5 nm a 388 sú s denným rozlíšením pre našu štúdiu k dispozícii od 1. 10. 2004 do 31. 8. 2015. Už vo finálnej verzii sú voľne prístupné na web stránke projektu GIOVANNI [3]. Kompletná dokumentácia spoločne s vedeckými publikáciami a algoritmiemi výpočtu jednotlivých produktov získaných pomocou Ozone Monitoring Instrument (OMI Algorithm Theoretical Baseline Documents [6]) je prístupná na webe. Výpočet optickej hrúbky je v porovnaní s pozemnými meraniami zložitejší. Z pochopiteľných dôvodov ho tu nebudeme uvádzat. Podrobnosti si záujemca môže nájsť na spomenutej web stránke.

V prípade albeda jednoduchého rozptylu platí, že táto optická vlastnosť atmosférických aerosolov je definovaná ako podiel bezrozmernej účinnosti rozptylu a bezrozmernej účinnosti útlmu pre danú vlnovú dĺžku. Celkový útlm energie je sumou rozptylenej a pohltenej energie aerosolmi. Daná charakteristika nám napomáha pri určovaní druhového zloženia aerosolov. Pomocou tohto parametra je možné detektovať výskyt čierneho uhlíka (sadzi) v atmosfére, prípadne aj kvantifikovať jeho podiel v rámci celkového druhového spektra aerosolov v atmosfére.

Výber vhodných údajov

Kľúčovou záležitosťou pri určovaní optických vlastností atmosférických aerosolov je z nameraných údajov odstrániť tie, ktoré sú ovplyvnené oblačnosťou. V anglickom jazyku je pre túto činnosť zaužívané slovné spojenie cloud screening. Brewerov ozónový spektrofotometer je počas prevádzky väčšinou v manuálnej režime, a takmer všetky merania priameho slnečného žiarenia zadáva operátor. Je stanovené robiť ich každú polhodinu. Pokiaľ to ale podmienky nedovoľujú, snahou je vystihnúť vhodný okamih keď je priame slnečné žiarenie neovplyvnené alebo čím menej ovplyvnené oblačnosťou. Občas sa takéto merania uskutočnia aj cez tenkú homogénnu oblačnosť, pretože princíp stanovenia množstva celkového ozónu to umožňuje a prístroj je primárne určený pre túto činnosť. Z tohto dôvodu je potrebné veľké množstvo nameraných údajov za použitia cloud screeningu odstrániť. Tento proces bol vykonaný postupnosťou jednotlivých krokov nasledovne:

- Meranie priameho slnečného žiarenia (DS – príkaz zadávaný operátorm) sa vykonáva iba pri relatívnej optickej hmotе menšej ako 4 a trvá približne 2,5 minúty. Za tento čas sa hustota toku slnečného žiarenia pre každú z piatich vlnových dĺžok zmeria päťkrát. Ak došlo v priebehu merania k výraznejšej zmene hustoty toku slnečného žiarenia v dôsledku oblačnosti, meranie nie je akceptované na základe týchto dvoch kritérií: Po prvej: sú odstrané všetky DS merania, ktoré vykazujú zvýšenú variabilitu hustoty toku slnečného žiarenia, čo sa následne prejaví pri výpočte celkového množstva ozónu. Odstrané sú tie DS merania, u ktorých štandardná odchyľka pre celkový ozón je rovná alebo presahuje 2,5 DU. Po druhé: sú odstrané merania u ktorých štandardná

odchýlka AOD pre aspoň jednu vlnovú dĺžku je rovná alebo presahuje 0,025. Ako už bolo vyšie spomenuté, posledné dve kritériá je možné vykonať vďaka tomu, že jedno DS merania pozostáva v skutočnosti z piatich meraní priameho slnečného žiarenia. Preto máme k dispozícii pre každú vlnovú dĺžku 5 hodnôt optickej hrúbky, pričom výsledná hodnota je daná ich priemerom, pokiaľ sú splnené obidve kritériá.

- b) Všetky hodnoty, ktoré prešli výberom a) sú v tejto časti ďalej overované. Od začiatku prevádzky prístroja má jeho operátor za úlohu komentovať aktuálny stav na oblohe. Pri každej zmene stavu, zadá nový komentár. Pomocou tohto komentáru boli odstránené tie DS merania, ktoré nesplňujú kritérium „čistého Slnka“ („čisté Slnko“ - slnečný kotúč nie je zaclonený oblačnosťou) a neboli vzaté do úvahy aj merania s dymnom.
- c) Aj po aplikácii kritérií v častiach a) a b) sa našli hodnoty optickej hrúbky, ktoré boli neakceptovateľne vysoké. Z tohto dôvodu bolo potrebné stanoviť limitnú hodnotu optickej hrúbky aerosólov, ktorá ešte môže byť akceptovaná. Napríklad, v práci De Bock et al. (2010) sú vzaté do úvahy iba hodnoty AOD, ktoré sú menšie ako 2. V našej práci sme sa rozhodli použiť ešte prísnejšie kritérium. Maximálna hodnota pre individuálne DS meranie nesmela dosiahnuť a prekročiť 1,5. Toto kritérium bolo aplikované aj pre satelitné údaje.

Iba tá optická hrúbka aerosólov z individuálnych DS meraní, ktorá prešla vyšie popísaným výberom, bola následne využitá pri výslednej analýze údajov.

VÝSLEDKY

Obrázok 1 znázorňuje porovnanie AOD pre všetkých päť vlnových dĺžok vo všeobecnom prípade (bez akýchkoľvek podmienok, ale po aplikácii cloud screeningu) a v prípade jasnej oblohy. Vyčlenenie podmienok jasnej oblohy bolo možné vďaka manuálnej obsluhe prístroja a komentovaniu stavu oblohy. Graf znázorňuje viacročné priemery. Je možné si všimnúť priamo úmernú závislosť AOD od vlnovej dĺžky. Rovnakú závislosť prezentuje aj práca Silva and Kirchhoff (2004) na základe meraní v Brazílii. V minulosti pre stanicu Poprad-Gánovce spracovala AOD Pribullová (2002) pre obdobie 1993–2001. V jej práci podobnú závislosť nenájdeme. Maximum AOD uvádza pre vlnovú dĺžku 310,1 nm, minimum je zhodné s našimi výsledkami a prislúcha pre 306,3 nm. V porovnávanej práci bola ale použitá odlišná metodika výpočtu, a tiež neboli zarátaný vplyv ND filtrov, ktoré Brewerov spektrofotometer vyberá automaticky vzhľadom na aktuálnu hustotu toku slnečného žiarenia.

Na obrázku 2 je graf znázorňujúci vývoj priemerných ročných hodnôt AOD pre dvojicu vlnových dĺžok. Evidentne došlo k poklesu AOD a poklesol aj rozdiel medzi vybranou dvojicou vlnových dĺžok. Príčiny týchto javov sú

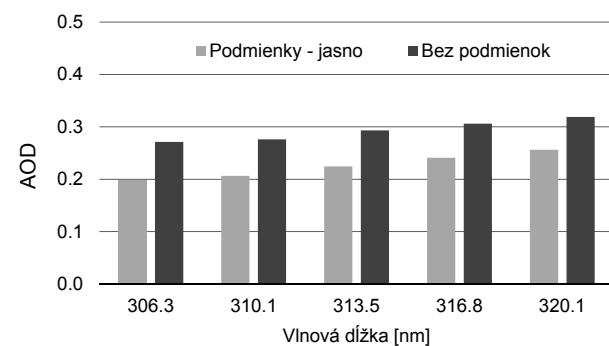
zatial' nejasné. V prípade priemerných ročných hodnôt AOD pre jednotlivé vlnové dĺžky bol očakávaný skôr slabý a nevýznamný pokles, prípadne stagnácia, všetko s výraznou medziročnou variabilitou.

Obrázok 3 ilustruje ročný chod vybraných charakteristik pre vlnovú dĺžku 320,1 nm. Naše výsledky sú blízke zisteniam práce Pribullová (2002). Zhodujú sa vo výskytu ročného minima v chladnom polroku, rovnako pozorujeme dvojvrcholový ročný chod, ale v našom prípade je druhý vrchol – absolútne maximum v mesiaci júl, v porovnávanej práci je to v mesiaci august. Aj v prípade hodnôt mesačných priemerov vidíme blízku podobnosť. Pozorujeme aj zhodu výskytu ročného maxima variability pre mesiac júl.

Z grafu na obrázku 4 vyplýva dominancia útlmu ultrafialového slnečného žiarenia ozónom pre kratšie vlnové dĺžky, pričom v prípade dvojice najdlhších dochádza naopak k slabej dominancii aerosólov. Tieto výsledky poukazujú na nezanedbateľný vplyv atmosférických aerosólov pri redukcii škodlivého ultrafialového slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch.

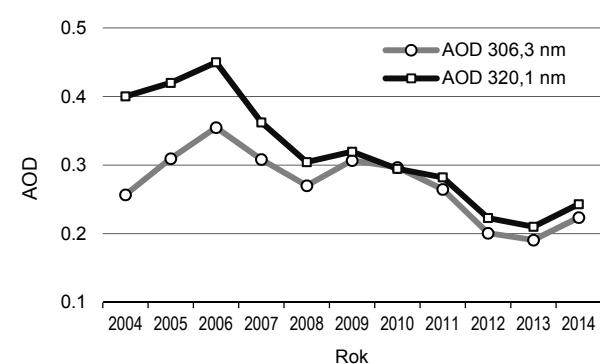
Obrázok 1. Priemerné AOD pre päť vlnových dĺžok za podmienok jasnej oblohy a bez špecifikácie podmienok v období 2004 – 2014 pre Brewerov spektrofotometer.

Figure 1. Average of AOD for five wavelengths under conditions of clear sky and without specifying of conditions in the period of 2004 – 2014 for Brewer spectrophotometer.



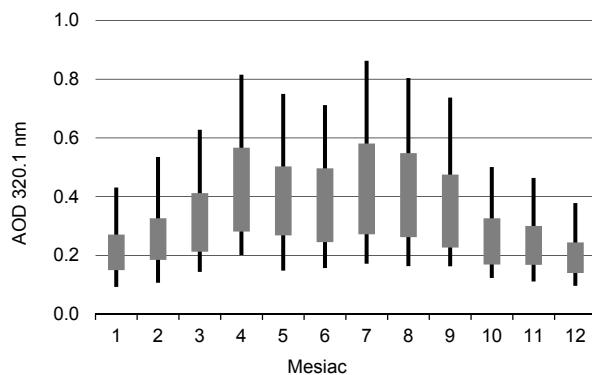
Obrázok 2. Priemerné ročné AOD v období 2004 – 2014 pre Brewerov spektrofotometer.

Figure 2. Average annual AOD in the period of 2004 – 2014 for Brewer spectrophotometer.



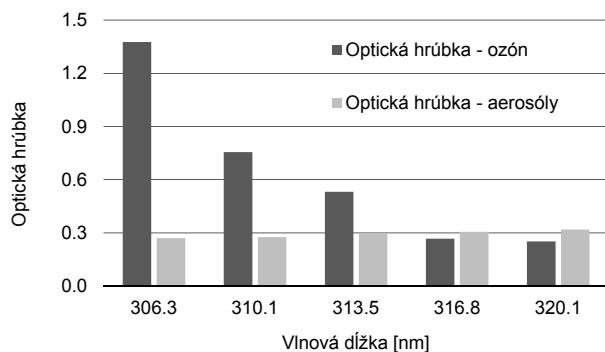
Obrázok 3. Priemerné mesačné maximum a minimum (čiary), priemerná variabilita (obdĺžníky) a priemer (stred obdĺžníkov) pre vlnovú dĺžku 320,1 nm v období júl 2003 – august 2015 pre Brewerov spektrofotometer.

Figure 3. Average monthly maximum and minimum (lines), average variability (rectangles) and average (middle of rectangles) for wavelength 320.1nm in the period of July 2003 – August 2015 for Brewer spectrophotometer.



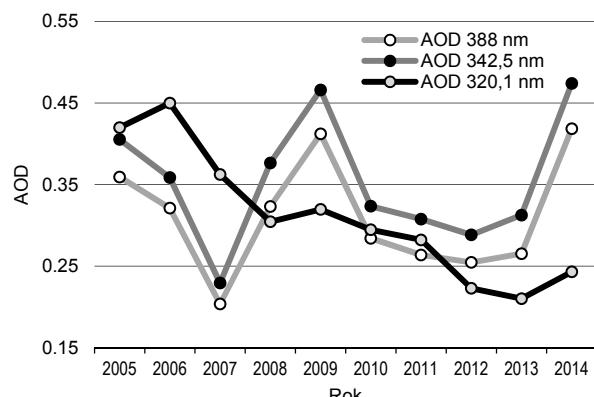
Obrázok 4. Porovnanie dlhodobých ročných priemerov optickej hrúbky pre ozón a aerosóly v období 2004 – 2014 pre Brewerov spektrofotometer.

Figure 4. Comparison of long-term annual averages of optical depth for ozone and aerosols in the period of 2004 – 2014 for Brewer spectrophotometer.



Obrázok 5. Priemerné ročné AOD pre 388 nm a 342,5 nm zo satelitu a pre 320,1 nm z Brewerovho spektrofotometra v období 2005 – 2014.

Figure 5. Average annual AOD for 388 nm and 342.5 nm from satellite and for 320.1 nm from Brewer spectrophotometer in the period of 2005 – 2014.



V tabuľke 1 je zosumarizovaný priemerný počet dní s údajmi po aplikácii cloud screeningu. V prípade ročného chodu je evidentný úbytok meraní v zimných mesiacoch, čo je spôsobené hlavne krátkym trvaním dňa a častými inverziami spojenými s nízkou oblačnosťou. Z tabuľky je ďalej evidentný nízky počet dostupných dní pre satelitné merania. V porovnaní s pozemnými je ich v ročnom priemere až 11 krát menej. Nízky počet satelitných údajov je v dôsledku polohy miesta merania v miernych zemepisných šírkach a v blízkosti hôr. Pre takúto oblasť je typický častý výskyt oblačnosti, ktorá znemožňuje meranie optickej hrúbky aerosólov. Svoju úlohu zohráva aj to, že satelitné meranie sa pre danú lokalitu vykonáva iba jedenkrát za deň.

Tabuľka 1. Priemerný počet dní s určenou AOD pre rok a mesiac po aplikácii cloud screening.

Table 1. Average number of days with AOD intended for year and months after the application of cloud screening.

	Rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brewer	210,5	13,3	12,8	17,9	19,9	17,5	20,1	23,1	22,6	20,1	17,9	14,6	12,1
Brewer - jasno	16,1	1,7	1,4	3,1	2,3	0,3	0,4	1,2	1,2	1,7	2,0	0,9	0,5
Satelit	18,5	0,2	0,2	1,3	1,9	1,5	1,0	1,6	2,3	4,1	3,9	0,7	0,4

Obrázok 5 znázorňuje porovnanie satelitných a pozemných meraní. V prvom prípade je evidentná výrazná medziročná variabilita s dvoma minimami. V druhom prípade je pozorovaný významný pokles. Ročné priemery hodnôt AOD sú pre kratšiu vlnovú dĺžku 342,5 nm vo všetkých sledovaných rokoch vyššie v porovnaní s hodnotami pre dlhšiu vlnovú dĺžku 388 nm. Grafy na obrázku 1 a obrázku 2 nám dokumentujú, že v prípade pozemných meraní je to takmer vždy opačne, a vyššie hodnoty AOD sú charakteristické pre dlhšie vlnové dĺžky.

Vzájomná korelácia pre satelitné a pozemné merania je ilustrovaná na obrázku 6. Za celé sledované obdobie bolo možné porovnať 201 dní. Z porovnania vyplýva slabá vzájomná korelácia. Pravdepodobne je to spôsobené širokým satelitným záberom, a aj tým, že denný priemer v prípade satelitných meraní je tvorený stále iba jednou hodnotou, ktorá nemusí vždy správne reprezentovať podmienky určitého dňa.

Tabuľka 2 znázorňuje vybrané charakteristiky albeda jednoduchého rozptylu pre dvojicu vlnových dĺžok (satelitné merania). Rozdiel je minimálny a môžeme konštatovať, že aerosóly v našej oblasti v dlhodobom priemere pohlcujú približne iba 3 % energie priameho slnečného žiarenia pre danú dvojicu vlnových dĺžok. Obsah sadzí v atmosfére bol teda v sledovanom období veľmi málo významný.

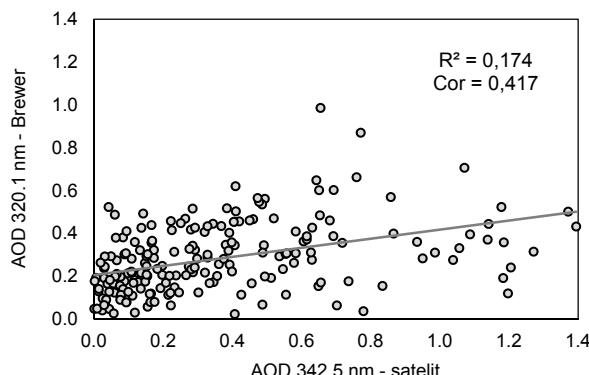
Tabuľka 2. Charakteristiky albeda jednoduchého rozptylu zo satelitu: október 2004 – august 2015.

Table 2. Characteristics of single scattering albedo from satellite: October 2004 – August 2015.

Vlnová dĺžka	Absolútne maximum	Dlhodobý ročný priemer	Absolútne minimum
342,5 nm	0,971	0,969	0,963
388,0 nm	0,971	0,968	0,960

Obrázok 6. Porovnanie denných priemerov AOD pre 342,5 nm zo satelitu a pre 320,1 nm z Brewerovho spektrofotometra v období október 2004 – august 2015.

Figure 6. Comparison of daily averages of AOD for 342.5 nm from satellite and for 320.1 nm from Brewer spectrophotometer in the period of October 2004 – August 2015.



ZÁVER A DISKUSIA

Výsledky predloženej práce vo viacerých prípadoch priniesli otázky na ktoré zatiaľ nepoznáme jasné odpoveď. Týka sa to najmä výrazného poklesu AOD za sledované obdobie 2004 – 2014. Rovnako nevysvetlený je zatiaľ aj pokles rozdielu AOD medzi najkrašou a najdlhšou vlnovou dĺžkou. Použitá metodika výpočtu vyžadovala znalosť množstva parametrov, či už prístrojových alebo aj prírodných, preto je možné, že mohla nastať chyba pri určení niektorého z nich. Jedným z klúčových parametrov sú extraterestriálne konštanty (ETC) pre jednotlivé vlnové dĺžky (rovinka 3). Použitá metodika výpočtu používa ETC konštanty určené pri kalibrácii. Kalibrácia sa vykonáva iba raz za dva roky. Je možné, že je to príliš dlhá doba a ETC konštanty sa počas tejto doby menia, čo následne vplýva na presnosť určenia AOD. Ďalej je možné, že tieto konštanty neboli pri kalibrácii určené dostatočne presne, čo sa v takomto prípade neskôr odzrkadlí na získaných výsledkoch. Vďaka novým prístrojom, ktoré boli koncom roka 2014 nainštalované na pracovisku Poprad-Gánovce, bude možné priamo porovnať merania dvoch Brewerových spektrofotometrov a slnečného fotometra, z čoho pramení potenciál ďalšieho vylepšovania meraní, metodiky výpočtu, a nakoľko aj výsledkov. Použitá metodika je jedna z klúčových vecí, ktoré vplývajú na presnosť výsledku, preto máme v pláne porovnať viaceré z nich a najst optimálnu. Rovnako sa plánujú pomocou tzv. Langley plot metódy dopočítat' neznáme extraterestriálne konštanty pred rokom 2003 a celý rad výrazne predĺžiť o staršie merania od roku 1993.

LITERATÚRA

- De Bock, V.–De Backer, H.–Mangold, A.–Delcloo, A., 2010, *Aerosol Optical Depth Measurements at 340 nm with a Brewer spectrophotometer and comparison with Cimel sunphotometer observations at Uccle, Belgium*. *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1577–1588.
- Gorshelev, V.–Serdyuchenko, A.–Weber, M.–Chehade, W.–Burrows, J. P., 2014, *High spectral resolution ozone absorption cross-sections – Part 1: Measurements, data analysis and comparison with previous measurements around 293 K*. *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 609–624.
- Kirchhoff, V.W.J.H.–Silva, A.A.–Costa, C.A.–Lem, N.P.–Pavao, H.G.–Zaratti, F., 2001, *UV-B optical thickness observations of the atmosphere*. *J. Geophys. Res.*, 106, 2963–2973.
- Krotkov, N.A.–Bhartia, P.K.–Herman, J.R.–Fioletov, V.–Kerr, J., 1998, *Satellite estimation of spectral surface UV irradiance in the presence of tropospheric aerosols 1. Cloud-free case*. *J. Geophys. Res.*, 103 (D8), 8779–8793.
- Kumharn, W.–Rimmer, J.S.–Smedley, A.R.D.–Ying, Y.T.–Webb, A.R., 2012, *Aerosol Optical Depth and the Global Brewer Network: A Study Using U.K. - and Malaysia-Based Brewer Spectrophotometers*. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 29, 857–866.
- Liu, S.C.–McKeen, S.A.–Madronich, S., 1991, *Effect of anthropogenic aerosols on biologically active ultraviolet radiation*. *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2265–2268.
- Marenco, F.–Di Sarra, A.–De Luisi, J., 2002, *Methodology for determining aerosol optical depth from Brewer 300–320 nm ozone measurements*. *Appl. Opt.*, 41, 1805–1814.
- Mišaga, O., 2012, *Spektroskopická metóda merania stratosférického ozónu*. In: *Zborník prednášok zo Seminára (Meteorológia a klimatológia vo vyučovaní III. Slnko a vzduch) pre učiteľov základných a stredných škôl*, ktorý sa konal 13.–16. júna 2012 v kongresovom centre SAV ACADEMIA. Bratislava: Geofyzikálny ústav SAV 134 s. ISBN 978-80-85754-25-4.
- Pribullová, A., 2002, *Spectral UV aerosol optical thickness determinated from the Poprad-Gánovce Brewer spectrophotometer observations*. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, Vol. 32/3.
- Schwartz, S.E.–Warneck, P., 1995, *Units for use in atmospheric chemistry*. *Pure and Applied Chemistry*, 67, 1377–1406.
- Sellitto, P.–d. Sarra, A.–Siani, A.M., 2006, *An improved algorithm for the determination of aerosol optical depth in the ultraviolet spectral range from Brewer spectrophotometer observations*. *J. Opt.*, 10A, 849–855.
- Solomon, S., et al., 2007, *Climate Change 2007: The Physical Sciences Basis*. Cambridge University Press, 996 pp.
- Serdyuchenko, A.–Gorshelev, V.–Weber, M.–Chehade, W.–Burrows, J.P., 2014, *High spectral resolution ozone absorption cross-sections – Part 2: Temperature dependence*. *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 625–636. Sci-Tec, 1999, *Brewer MKIV Spectrophotometer Operator's Manual*. Saskatoon, Canada.
- Silva, A.A.–Kirchhoff, V.W.J.H., 2004, *Aerosol optical thickness from Brewer spectrophotometers and an investigation into the stray-light effect*. *Appl. Opt.*, 43, 2484–2489.
- Wilawan, K., 2015, Sumridh, S. & Kesrin, H. *Aerosol Optical Depth: A study using Thailand based Brewer Spectrophotometers*. *Advances in Space Research*, 56/11, 2384–2388.
- World Meteorological Organization, 2008, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO – No. 8 (updated in 2010)*. Geneva, Switzerland. 716 pp. ISBN 978-92-63-10008-5.

- [1] http://www.iac.ethz.ch/edu/courses/bachelor/vertiefung/atmospheric_physics/Script-2014/Script-aerosols-revised.pdf
- [2] <http://aura.gsfc.nasa.gov/scinst/omi.html>
- [3] <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- [4] <http://www.iup.physik.uni-bremen.de/gruppen/molspec/databases/index.html>
- [5] <http://www.o3soft.eu/o3baod.html>
- [6] <http://projects.knmi.nl/omi/research/product/publications.php>

AKTIVITY SLOVENSKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU PRI RIEŠENÍ NÁSLEDKOV HAVÁRIE JE ČERNOBYĽ NA ÚZEMÍ ČESKOSLOVENSKA

ŠTEFAN ŠKULEC

The Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ) has traditionally their competencies mainly in monitoring and forecasting of weather, climate and hydrological conditions in Slovakia. In sixties of the 20th century the competencies of the SHMÚ were extended by monitoring of air quality and radioactivity. In consequence of developing nuclear power plants in the former Czechoslovakia, the SHMÚ also developed complex system for providing of meteorological data and methods which were necessary for all phases of building and operation of nuclear power plants. The central working place for these activities was placed in Jaslovské Bohunice.

After receiving of the first unofficial information on the nuclear accident in Chernobyl, the working team of the SHMÚ specialists in Jaslovské Bohunice analysed situation and started calculation of the trajectories of radioactive clouds emitted from damaged nuclear power plant Chernobyl. After announcing of the first successful results the specialists of the SHMÚ were involved in the Central Evaluation Group in Prague. The results of trajectory analysis were successfully used after that in monitoring and describing the contamination of the territory of Czechoslovakia by radionuclids emitted from crashed nuclear power plant Chernobyl.

Experience obtained during the Chernobyl campaign were linked very closely with next development of methods of emergency management in Czechoslovakia and Slovakia and with the development and building of the Early Warning System of Slovakia for Nuclear Accidents. The Chernobyl event became a very strong argument supporting idea of the Early Warning System. Reflecting experience with the Chernobyl accident 30 years ago it would be desirable to stress that the SHMÚ was and stays a very important part of the emergency management of the Slovak Republic. The unique infrastructure, software and skill of specialists create potential to participate actively in any type of accidents in atmosphere. Especially the trajectory analysis could be good instrument for managing of accident not only for long range transport in the atmosphere but also in local range.

Tradičné kompetencie Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) spočívali hlavne v monitorovaní a predpovedaní počasia, klímy a hydrologických podmienok na území Slovenska. V 60. rokoch 20. storočia boli kompetencie SHMÚ rozšírené o monitorovanie kvality ovzdušia a rádioaktivity. V reakcii na budovanie jadrových elektrární vo vtedajšom Československu, SHMÚ vyuvinul komplexný systém pre meteorologické zabezpečovanie jadrových elektrární vo všetkých fázach budovania a prevádzky jadrových elektrární. Stredisko tohto systému bolo umiestnené v Jaslovských Bohuniciach.

Po získaní prvých neoficiálnych informácií o jadrovej nehode v Černobyle, analyzoval tím špecialistov SHMÚ v Jaslovských Bohuniciach vzniknutú situáciu a začal výpočty trajektorií radioaktívnych oblakov, emitovaných z poškodenej jadrovej elektrárne v Černobyle. Po oznámení prvých úspešných výsledkov boli špecialisti SHMÚ zaradení do Centrálnej vyhodnocovacej skupiny v Prahe. Výsledky trajektoriovej analýzy boli úspešne použité pri monitorovaní a popise kontaminácie územia Československa rádionuklidmi, emitovanými z havarovej jadrovej elektrárne v Černobyle. Skúsenosti, získané počas černobyl'skej epizódy boli využité pri ďalšom vývoji metód havarijného manažmentu v Československu a na Slovensku, a pri vývoji a budovaní Systému včasného varovania pre jadrové nehody Slovenskej republiky.

Key words: accident, NPP (Nuclear Power Plant) Chernobyl, radionuclides, monitoring, SHMÚ, trajectory, trajectory analysis, emergency management, Project ATMES, Early Warning System for Nuclear Accidents

Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ), ako je všeobecne známe, má dlhodobú tradíciu v monitorovaní a predpovedaní počasia, klímy a hydrologických podmienok na území Slovenska. Od 60. rokov 20. storočia boli kompetencie SHMÚ rozšírené postupne o monitorovanie rádioaktivity atmosférického spadu a neskôr aj kvality ovzdušia.

Monitorovanie rádioaktivity atmosférického spadu bolo iniciované hromadením rádioaktívnych prvkov – produktov pokusných jadrových výbuchov v atmosféri a následným zvyšovaním radiačnej zátlače v globálnom meradle. Série

pokusných výbuchov v atmosféri, uskutočňované bez akejkoľvek regulácie jadrovými veľmocami v 50. a na začiatku 60. rokov vytvorili hrozivý stav úrovne rádioaktivity atmosféry. Viedlo to k uzavretiu dohody a zastavení pokusov a k vytvoreniu kontrolného monitoringu v globálnom meradle. Na podnet kompetentných inštitúcií v Československu bolo zorganizované v rámci vtedajšieho Hydrometeorologického ústavu na vybraných meteorologických staniciach na území celého Československa monitorovanie sumárnej beta rádioaktivity atmosférického spadu, ktoré bolo uskutočňované až do začiatku 90. rokov.

Na konci 50. rokov sa v Československu začala budovať prvá jadrová elektráreň A 1 v Jaslovských Bohuniciach. SHMÚ bol poverený rozpracovaním podkladov pre reguláciu vypúšťania rádioaktívnych emisií do atmosféry, vznikajúcich na jadrovej elektrárni (JE) pri normálnej prevádzke. Cieľom bolo využiť optimálne podmienky pre rozptyl v atmosfére a redukovať tak potenciálnu radiačnú záťaž obyvateľstva v okolí JE. Systém bol prevádzkovaný počas celej činnosti A 1 na meteorologickej stanici SHMÚ v Jaslovských Bohuniciach.

V 70. a 80. rokoch sa rozvinula výstavba jadrových elektrární v lokalitách Dukovany, Mochovce a Temelín. V Jaslovských Bohuniciach preto SHMÚ vybudoval pracovisko s celoštátnou pôsobnosťou (v rámci Československa), ktoré sa zaoberala komplexne rozvojom metód pre poskytovanie meteorologických informácií, potrebných pre prevádzku JE. Na pracovisku sa študovali a využívali metódy monitoringu atmosféry pri prevádzke JE a matematické modely pre popis rozptylu rádioaktívnych látok v atmosfére s nadviaznosťou na výpočet radiačnej záťaže obyvateľstva pri normálnej prevádzke a pri havarijných situáciach.

Je známe, že výkonné JE sú zdrojom odpadového tepla, ktoré, podľa typu chladenia, je odvádzané do atmosféry alebo hydrosféry. V Československu boli využívané atmosférické chladiče, konkrétnie chladiace veže mokrého typu s prirodzeným ľahom, a preto sa na pracovisku SHMÚ v Jaslovských Bohuniciach rozvíjali aj metódy monitoringu a hodnotenia potenciálnych klimatických efektov emisií tepla a vody do atmosféry.

Pracovisko SHMÚ v Jaslovských Bohuniciach sa postupne zapojilo do väčšiny klúčových aktivít v Československu, súvisiacich s vyhodnocovaním vplyvu na životné prostredie vo všetkých fázach budovania jadrových elektrární a stalo sa významným subsystémom monitорovacieho systému a havarijného manažmentu pre jadrové havarie na území Československa.

V 80. rokoch sa v súvislosti s rozvojom havarijného plánovania zvyšovali nároky na hodnotenie skutočných a potenciálnych havarijных situácií. Rozvíjali sa preto sofistikované matematické modely pre operatívne alebo post-operatívne využitie a diskutovali sa spôsoby hodnotenia rozptylu rádioaktívnych emisií v lokálnom meradle a na stredné a veľké vzdialenosť.

Limitujúcimi faktormi pri týchto aktivitách v podmienkach uzavretej ekonomiky východného bloku, ktorej súčasťou bolo aj Československo, boli nedostatok, malá výkonnosť a nespôsobilosť výpočtovej a meracej techniky, ktorú sme mali k dispozícii na našich pracoviskách.

Objektívnym limitujúcim faktorom pri posudzovaní prenosu rádioaktívnych emisií na stredné a veľké vzdialnosti, a zvlášť, keď išlo o viacnásobný cezhraničný prenos, bola vtedajšia úroveň dostupnosti relevantných meteorologickej informácií a ich časového a priestorového rozlíšenia. Tak ako v súčasnosti boli zdrojom týchto údajov globálne systémy, prevádzkované Svetovou meteorologickej organizáciou. Získavanie údajov pre modelovanie prenosu emisií na veľké vzdialnosti bolo vzhľadom na vtedajšiu úroveň meracej, výpočtovej a telekomunikačnej techniky aj na špičkovej svetovej úrovni neporovnatelne náročnejšie ako v súčasnosti a niekedy až nemožné.

Ďalším nedostatkom koncepčného charakteru bolo, že systémy havarijného plánovania v Československu, ale aj v iných krajinách, počítali len s haváriami s dosahom v lokálnom alebo regionálnom meradle (niekoľko desiatok kilometrov od zdroja). Havária, pri ktorej by bolo kontaminované územie niekoľkých štátov, bola hodnotená ako extrémne málo pravdepodobná, oficiálne havarijné plány ju ignorovali a nebola ani precvičovaná. Táto skutočnosť vysvetľuje aj vysokú mieru improvizácie, ktorou boli poznačené post-havarijné aktivity v okolí havarowanej elektrárne v Černobyle, ale aj na území ostatných dotknutých krajín.

Napriek tomu možno retrospektívne konštatovať, že v druhej polovici 80. rokov bol na SHMÚ Jaslovské Bohunice pripravený originálny komplex nástrojov (metodik, matematických modelov, výpočtových programov) a skúsený tým špecialistov, ktorí boli schopní reagovať na široké spektrum situácií, vrátane šírenia rádioaktívnych emisií v atmosfére pri veľkých haváriách jadrových zariadení.

Ako je známe, situácia po vzniku havárie na JE Černobyl' a aj niekoľko dní potom bola veľmi neprehľadná. Charakterizovala ju totálna absencia informácií z miesta havárie a nejasné a zámerne dezorientujúce vyjadrenia domácich médií, ktoré boli usmerňované politickými špičkami a nie odborníkmi. Ako sa neskôr ukázalo, havária a destrukcia reaktoru 4. bloku JE v Černobyle sa stala asi 83 minút po polnoci dňa 26. apríla 1986 miestneho času. Prvé signály o vzostupe hodnoty rádioaktivity a podozrenie o úniku rádionuklidov z neznámeho zdroja sa objavili vo Švédsku dňa 27. apríla. Po preverení potenciálnych domácich zdrojov úniku bola vzhľadom na smer aktuálneho vzdušného prúdenia nad Škandináviou v podozrení najprv sovietska (vtedy) JE Ignalino (Litva). Neskôr, po preverení snímkov amerických satelitov bol potvrdený ako zdroj JE Černobyl'.

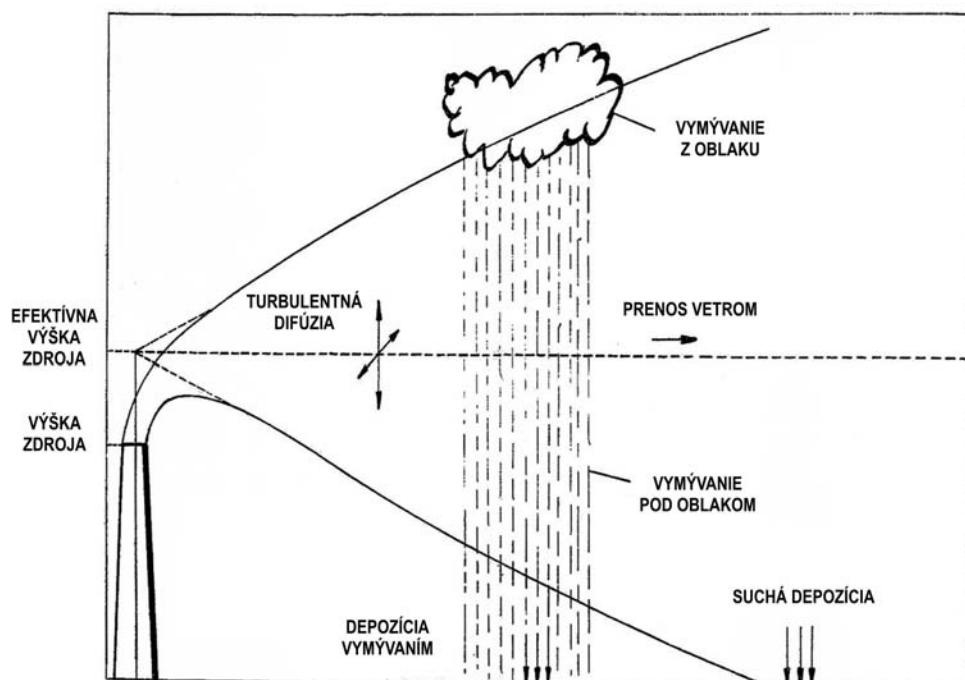
Vláda ČSSR spočiatku zaujala vyčkávaciu taktiku. Sovietskou vládou bola o havárii informovaná oficiálne až 30. apríla 1986. Po potvrdení správ o havárii na JE Černobyl' bola zvolaná Vládna havarijná komisia a v Centre hygieny záření Instituta hygiény a epidemiológie v Prahe bola zriadená pracovná skupina pod názvom Centrálna vyhodnocovacia skupina Vládnej havarijnej komisie, ktorá dostala mandát pre riadenie a vyhodnocovanie monitорovacích prác, spojených s haváriou JE Černobyl' na území celého Československa. Skupina bola zložená zo špičkových odborníkov v oblasti radiačnej hygiény a havarijného manažmentu.

Prakticky všetky pracoviská na území Československa, ktoré boli v rámci svojho profesného zamerania schopné vykonávať meranie rádioaktivity, po oznámení havárie buď pokračovali vo svojich kontinuálnych monitорovacích aktivitách alebo aktivovali svoje zariadenia.

Po prvých správach o havárii zo zahraničných médií bol dňa 28. 4. zhromaždený tým špecialistov SHMÚ v Jaslovských Bohuniciach a začali sme spracúvať informácie o havárii na JE Černobyl'. Boli zhromaždené všetky dostupné údaje o JE Černobyl'. Vzhľadom na absolútny nedostatok informácií o emisií rádionuklidov (množstvo, výška a časový priebeh emisie) z havarowanej JE bolo rozhodnuté, že sa nebude počítať rozptyl a koncentrácie

Obrázok 1.
Chovanie
rádioaktívnych emisií
v atmosfére.

Figure 1.
The behaviour of
radioactive emissions
released into the
atmosphere.



oblaku v atmosfére, ale len trajektórie centier oblakov, emitovaných v pravidelnom intervale 12 hodín, ktoré by umožnili charakterizovať základné tendencie v šírení potenciálnych emisií rádionuklidov. Bol ďalej prijatý predpoklad, že emisia rádionuklidov z havarovej JE pokračovala aj v ďalších hodinách a dňoch po vzniku havárie. Po diskusiách o možnom charaktere a teplote emisií z havarovej JE bola vybratá ako výška šírenia emisií v počiatknej fáze hladina 850 mPa (asi 1500 m).

Pre vysvetlenie vznikutej situácie uvádzame niekoľko faktov o chovaní rádionuklidov v atmosfére. Rádionuklidy, emitované do atmosféry sú prenášané prúdením vzduchu a zriedované atmosférickou difúziou. Procesmi gravitačného usadzovania a suchého spadu sú rádionuklidy kontinuálne usadzované na zemskom povrchu. Atmosférické zrážky, ak sa vyskytujú, vymývajú a usadzujú rádionuklidy z atmosféry na zemský povrch. Spoločným pôsobením procesov gravitačného usadzovania, suchého spadu a vymývania zrážkami sa časť rádionuklidov usadzuje na povrchu a po prechode oblaku vytvára rádioaktívnu stopu (Obr. 1). Hodnoty koncentrácie rádionuklidov v oblaku teda primárne závisia na veľkosti emisie a sekundárne na dĺžke a intenzite pôsobenia zriedovacích a usadzovacích procesov, pôsobiacich v atmosfére. Dĺžka trajektórie a tým aj trvanie zriedovacích procesov preto významne ovplyvňuje koncentrácie v oblaku.

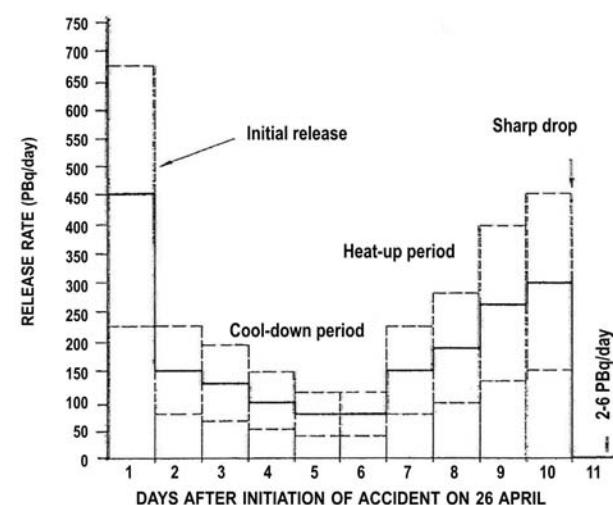
Podľa neskoršie publikovaných odhadov [1] bolo z havarovej elektrárne emitovaných do atmosféry celkovo asi 2.10^{19} Bq. V prvý deň havárie (26. apríla) to bolo asi 25 % celkovej hodnoty, v ďalších dňoch emisia klesla, ale v 7., 8., 9. a 10. deň po vzniku havárie (2., 3., 4. a 5. mája) opäť výrazne stúpla. V 11. dni (6. mája) po vzniku havárie bola emisia z havarovej JE takmer ukončená vďaka pôsobeniu záchranárskych tímov na havarovej JE (Obr. 2).

Podľa predpokladaného scenára udalostí na havarovej JE bola kontinuálna emisia rádionuklidov rozdeľovaná podľa meniaceho sa smeru prúdenia ovzdušia do rôznych smerov. V okolí sa preto sfornovali oblaky rádionuklidov, ktoré boli ďalej prenášané na veľké vzdialenosť od zdroja a transformované alebo separované podľa lokálnych podmienok v atmosfére. Trajektórie centra oblaku, počítané v pravidelných intervaloch, umožňovali odhadovať pohyb reálnych oblakov.

Vypočítané trajektórie sa primárne hodnotili z hľadiska možného zásahu územia Československa. Pre výpočet trajektórií bolo potrebné zhromaždiť a použiť údaje o prúdení

Obrázok 2. Množstvo rádionuklidov, emitovaných z havarovej JE Černobyl' v prvých dňoch havárie.

Figure 2. The quantity of radionuclides released from crashed NPP Tchernobyl in first days after initiation of accident.



vzduchu z okolia zdroja emisií a ďalej z území, v ktorých sa oblaky pohybovali. V spolupráci s kolegami z predpovednej služby SHMÚ v Bratislave sa zhromažďovali údaje o prúdení vzduchu nad strednou a východnou Európu z Globálneho telekomunikačného systému Svetovej meteorologickej organizácie (vtedy sa prenášali len ďalekopismi).

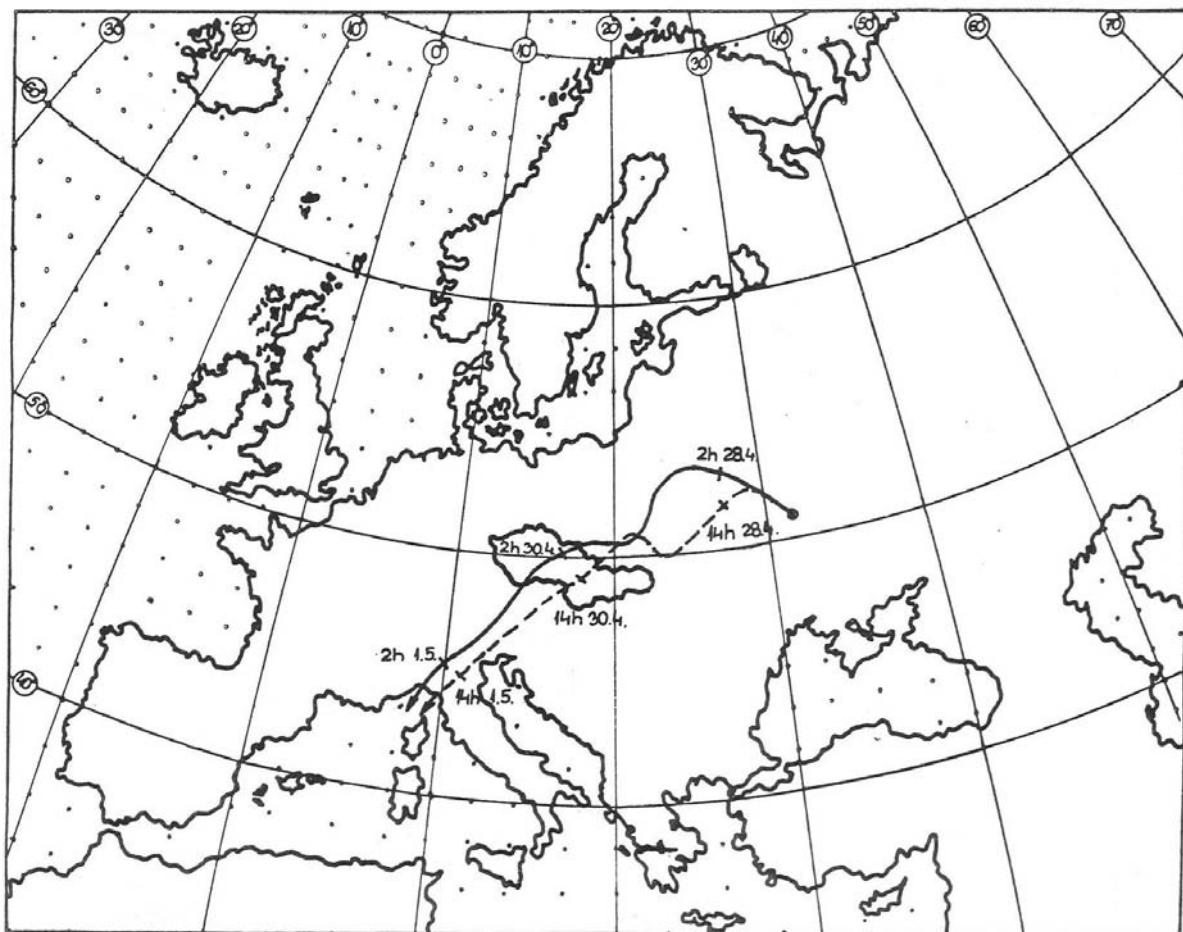
Výpočty trajektórií na SHMÚ začali aj bez oficiálneho poverenia 29. apríla. Späť boli vyhodnotené trajektórie s počiatkom o 0,00 h GMT 26. 4. a ďalej s intervalom 12 hodín.

Výpočty trajektórií oblakov rádioaktívneho materiálu z Černobylu boli operatívne konfrontované s meraniami sumárnej beta-aktivity atmosférického spadu, ktoré sa dlhodobo vykonávali na SHMÚ a ktoré zaznamenali významný a neobvyklý vzostup hodnôt rádioaktivity dňa 29. apríla. Dobrý súhlas trajektórií s týmito údajmi bol potvrdením, že výsledky trajektóriovej analýzy popisujú procesy realistiky.

Ako sa neskôr potvrdilo, prvý vzostup rádioaktivity na území ČSSR bol zaregistrovaný 29. 4. 1986 na všetkých pracoviskách, ktoré monitorovali rádioaktivitu. Pomerne dobre to vysvetľuje trajektória centra oblaku, emitovaného

z Černobylu o polnoci dňa 27. 4., ktorý v noci z 29. 4. na 30. 4 prenikol cez severnú hranicu na územie Česko-slovenska a pokračoval južným smerom. Z trajektóriovej analýzy je zrejmé, že oblaky emitované z Černobylu na konci 1. dňa havárie kontaminovali atmosféru nad strednou časťou Československa už v popoludňajších hodinách 29. 4. Ako sa neskôr ukázalo, tento oblak priniesol maximálne hodnoty koncentrácie rádionuklidov v ovzduší nad územím Československa, spôsobené černobyľskou haváriou a namerané dňa 30. 4. aj v rámci monitorovacieho systému štátu. V noci počas prechodu tohto oblaku sa vyskytovali v severnom pohraničí Moravy búrky. Kombinácia intenzívneho dažďa a vysokých koncentrácií v atmosféri prispela k depozícii rádionuklidov na povrchu a vytvorila v tejto oblasti lokality s najvyššími koncentráciami rádionuklidov v povrchovom depozite na území Československa.

Podľa trajektóriovej analýzy boli zaznamenané celkovo 3 prechody centier oblakov rádionuklidov nad územím Československa. Prvý, už komentovaný v noci z 29. na 30. apríla, druhý 3. a 4. mája a tretí 7. mája. Dobre to dokumentujú aj obrázky 3 – 5.



Obrázok 3. Trajektórie oblaku rádioaktívneho materiálu, unikajúceho z JE Černobyl dňa 27. 4. 1986 a unášaného prúdením ovzdušia. Počiatky a jednotlivé fázy trajektórií sú vyjadrené v letnom SEČ. Počiatok emisie: — 2 h; — — 14 h.

Figure 3. The trajectories of windborne puffs of radioactive material released into the atmosphere from NPP Tchernobyl on the 27. April 1986. The starting time and separate phases of trajectories are expressed in summer CET. The starting time of emissions: — 02 hrs; — — 14 hrs.

Obrázky trajektórií sú pôvodné a neupravované, tak ako boli generované v reálnom čase v dňoch po havárii.

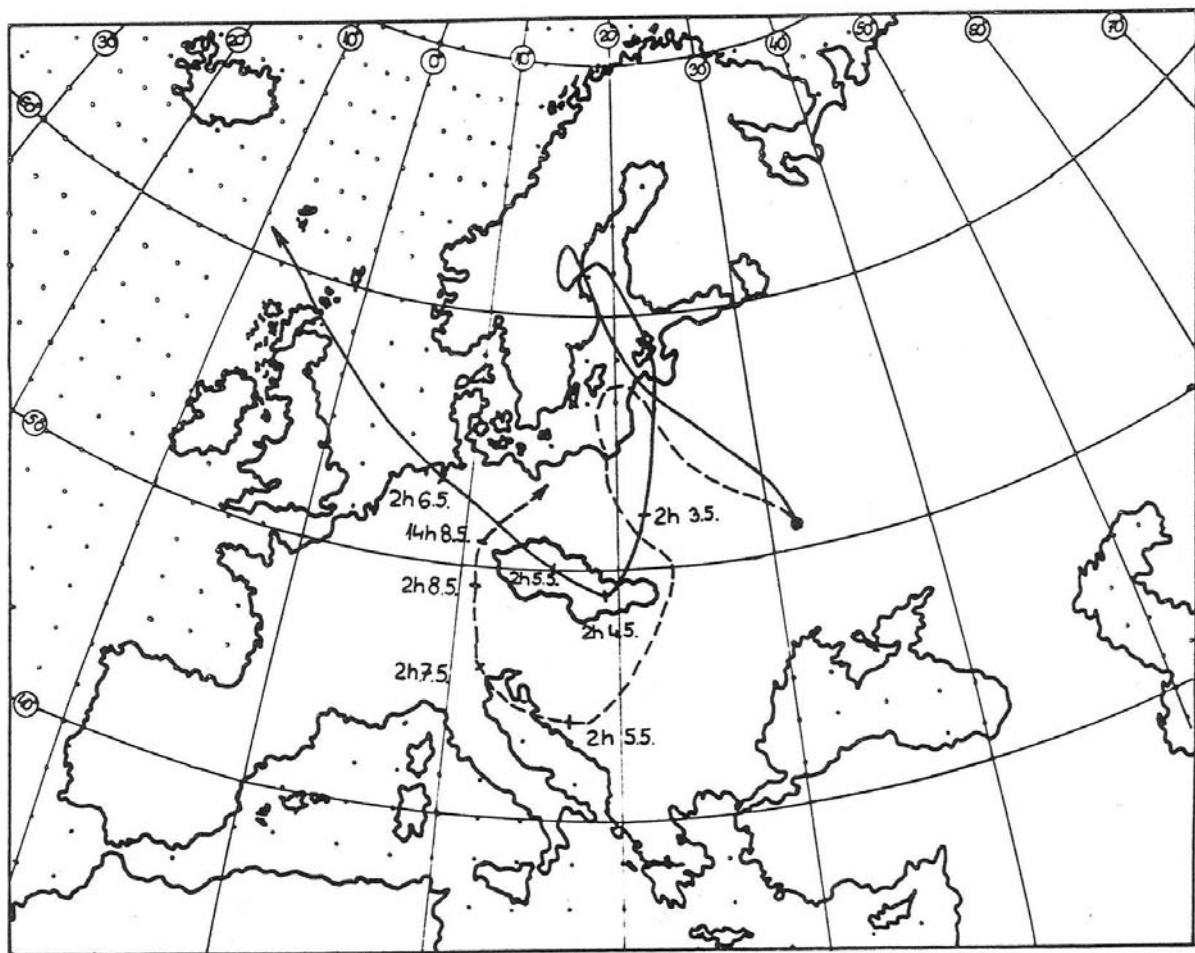
Aj keď v tomto príspevku prezentujeme len niekoľko ukážok trajektóriovej analýzy, naznačuje trajektóriová analýza postupné formovanie radiačnej situácie nad Európu v závislosti na zložitosti a dynamike vzdušných prúdení. Túto zložitosť dokumentuje napríklad vývoj z prvého dňa havárie. Počas celého dňa boli emisie z havarovanej JE unášané prevládajúcim juhovýchodným prúdením približne na severozápad. Emisie z prvej polovice dňa boli unášané približne rovnakým smerom do severnej časti Škandinávie, ale emisie z druhej polovice dňa boli nad Baltským morom zachytené severovýchodným až severným prúdením a postupovali približne do strednej Európy.

O realizácii trajektóriovej analýzy a jej výsledkoch na SHMÚ boli informovaní špecialisti v Centre hygieny zárení Instituta hygieny a epidemiologie v Prahe, ktorí riadili monitorovací systém Československa. Pracovníci SHMÚ boli následne pozvaní Centrálnou vyhodnocovacou skupinou do Prahy, kde sa presunuli 3. mája a pokračovali vo výpočte trajektórií. Aj v Prahe bol potvrdený dobrý súhlas výsledkov trajektóriovej analýzy s priebežnými výsledkami

merania kontaminácie ovzdušia v rôznych častiach územia Československa.

Výsledky trajektóriovej analýzy umožnili lepšie pochopiť časový priebeh formovania kontaminácie ovzdušia a rádioaktívnej stopy na povrchu Československa v závislosti na pohybe jednotlivých oblakov. Požiadavky na celoplošné monitorovanie územia Československa presahovali svojim rozsahom štandardné aktivity hygienickej služby a vyžadovali preto mimoriadne nasadenie všetkých zložiek monitorovacieho systému. Vyhodnotiť všetky možné cesty pôsobenia rádionuklidov nie je jednoduchý proces, čo naznačuje aj obrázok 6. Prechody ďalších oblakov prispievali k rýchlemu vývoju situácie a z havarovanej elektrárne neboli dôveryhodné podklady pre prognózovanie ďalšieho vývoja situácie. Výsledky trajektóriovej analýzy preto pomohli aj v tejto zložitej situácii získať prehľad o doterajšom a budúcom vývoji radiačnej situácie.

K racionalizácii postupu monitorovania havárie JE Černobyl na území Československa prispeli špecialisti SHMÚ v rámci Centrálnej vyhodnocovacej skupiny aj operatívnym vyhodnocovaním zrážkovej aktivity nad celým územím Československa. Každodenne bol vykonaný zber



Obrázok 4. Trajektórie oblaku rádioaktívneho materiálu, unikajúceho z JE Černobyl dňa 26. 4. 1986 a unášaného prúdením ovzdušia. Počiatky a jednotlivé fázy trajektórií sú vyjadrené v letnom SEČ. Počiatok emisie: — 2 h; — — 14 h.

Figure 4. The trajectories of windborne puffs of radioactive material released into the atmosphere from NPP Tchernobyl on the 26. April 1986. The starting time and separate phases of trajectories are expressed in summer CET. The starting time of emissions: — 02 hrs; — — 14 hrs

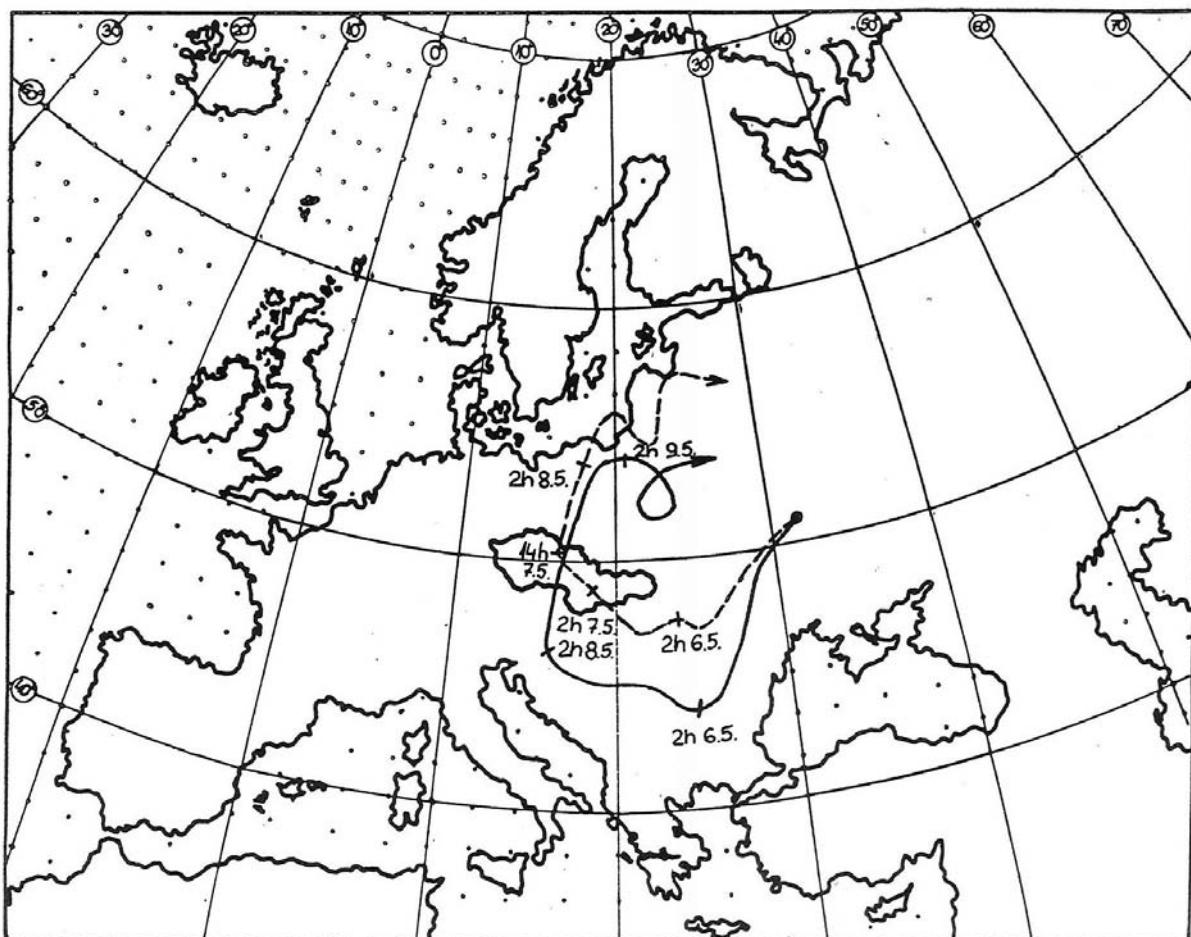
informácií o výskute a množstve zrážok zo všetkých pracovísk hydrometeorologickej služby na území Československa a na základe mapy výskytu zrážok bolo optimalizované ďalšie nasadenie monitorovacích kapacít.

Aj neskôr hodnotenia potvrdili význam meteorologickej informácií najmä pri operatívnom zvládnutí monitoringu a organizácii následných opatrení. Stali sa impulzom pre ďalší vývoj metód na SHMÚ Jaslovské Bohunice a prispeli aj k zlepšeniu materiálnych podmienok na pracoviskách na celom ústave. Pokračovalo sa intenzívne vo vývoji matematického modelu pre hodnotenie šírenia rádioaktívnych emisií v lokálnom, regionálnom a cezhraničnom meradle. Tieto práce vrcholili účasťou tímu z SHMÚ Jaslovské Bohunice v medzinárodnej porovnávacej štúdie ATMES (Atmospheric Transport Model Evaluation Study), ktorú v rokoch 1987–1991 organizovala Medzinárodná komisia pre atómovú energiu v spolupráci so Svetovou meteorologickej organizáciou /2/. Štúdie sa zúčastnilo so svojimi modelmi 21 riešiteľských tímov zo 14 krajín. V rámci štúdie bol vykonaný výpočet šírenia rádionuklidov z havarovej JE Černobyl' v celoeurópskom meradle

s využitím dovtedy zhromaždených údajov o emisii z JE Černobyl' a reálnych meteorologickej podmienkach nad Európu v dobe havárie. Výsledky boli porovnávané s namenanými hodnotami v rôznych častiach Európy.

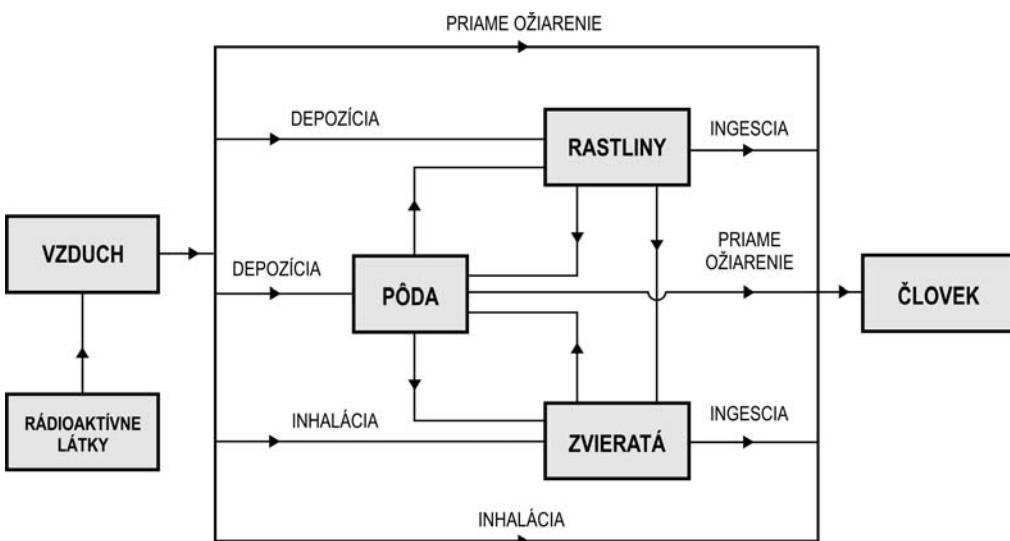
Úspešné aktivity SHMÚ pri riešení černobyl'skej havárie boli tiež podnetom pre zaradenie člena tímu SHMÚ do skupiny expertov Svetovej meteorologickej organizácie, ktorá navštívila ako jedna z prvých zahraničných skupín lokalitu havarovej JE Černobyl' v marci 1988, kde sa zoznámila so stavom sanačných prác v lokalite.

Skúsenosti, získané v operatívnom nasadení počas havárie JE Černobyl' boli na SHMÚ využité aj pri rozvoji systému meteorologickej zabezpečovania jadrových elektrární a pri rozvoji havarijného manažmentu Slovenskej republiky. Priebeh udalostí počas havárie výrazne posilnil aj v Československu názory o potrebe vybudovania systému včasného varovania pre jadrové havárie. S využitím komunikačného systému SHMÚ a vďaka iniciatíve a skúsenostiam expertov SHMÚ sa tento systém podarilo na Slovensku uviesť do prevádzky na začiatku 90. rokov. Prevádzkovateľom tohto systému je až do súčasnosti SHMÚ.



Obrázok 5. Trajektórie oblaku rádioaktívneho materiálu, unikajúceho z JE Černobyl' dňa 4.5.1986 a unášaného prúdením ovzdušia. Počiatky a jednotlivé fázy trajektórií sú vyjadrené v letnom SEC. Počiatok emisie: — 2 h; - - - 14 h.

Figure 5. The trajectories of windborne puffs of radioactive material released into the atmosphere from NPP Tchernobyl on the 4. May 1986. The starting time and separate phases of trajectories are expressed in summer CET. The starting time of emissions: — 02 hrs; - - - 14 hrs



Obrázok 6. Cesty pôsobenia rádioaktívnych látok, vypustených do ovzdušia na človeka.

Figure 6. The ways of exposure to people caused by radioactive material released into the atmosphere.

Ak v kontexte s „černobyľskými“ aktivitami SHMÚ pred tridsiatimi rokmi posudzujeme súčasný stav v oblasti havarijného manažmentu na Slovensku a na SHMÚ, je potrebné v prvom rade konštatovať, že SHMÚ so svojimi súčasnými kompetenciami predstavuje aj dnes nenahraditeľnú komponentu havarijného manažmentu Slovenskej republiky. Nie je ňou len ako pasívny zdroj kvalitných údajov o stave a vývoji atmosféry a hydrosféry, ale aj ako zdroj sofistikovaného know-how a špičkových expertov. Skúsenosti z černobyľskej epizódy, ale aj z ďalších udalostí v oblasti havarijného manažmentu naznačujú význam dobrej prípravy, ale aj schopnosti improvizácie pri riešení konkrétnych prípadov. Poskytovanie komplexnej informácie pre havarijný manažment v rámci svojich kompetencií je pre SHMÚ predmetom služby verejnosti, tak ako je poskytovanie predpovedi počasia.

Mimoriadny pokrok možno konštatovať v oblasti prípravy dát, charakterizujúcich atmosféru. Vďaka rozvoju telekomunikačných a počítačových technológií, ale aj vďaka rozvoju systémov pre numerickú predpoved počasia, sú k dispozícii údaje o atmosfére s vysokým priestorovým a časovým rozlíšením. Konštrukcia trajektórií, vrátane predpovede trajektórií, sa preto stala rutinnou procedúrou. Ako nadstavba pre systémy na predpoved počasia sú v rámci medzinárodnej komunity zdieľané aj kapacity pre výpočet koncentrácií v okolí potenciálneho zdroja na území člena komunity.

Nie vždy sú však počas havarijného úniku k dispozícii spoľahlivé údaje o emisii. Trajektórie centra hypotetic-

kého alebo reálneho oblaku ostávajú preto dobrým nástrojom pre posudzovanie situácie počas havárií a krízových situácií a pri organizovaní následných opatrení. Aj keď všeobecne sa trajektórie a trajektóriová analýza vnímajú ako nástroj pri prenose na stredné alebo veľké vzdialenosť, majú trajektórie veľký operatívny význam aj v lokálnom meradle. Súčasná úroveň priestorového rozlišenia údajov o veternom prúdení v systémoch pre predpoved počasia umožňuje konštruovať lokálne trajektórie (aktuálne a aj predpovedné) prakticky hocikedy a hocikde na území používanej domény. Takéto údaje môžu zásadne ovplyvňovať operatívne rozhodnutia havarijného manažmentu pri formulovaní a vykonávaní následných opatrení v konkrétnych situáciách. Bolo by preto užitočné, aby postup pre prípravu trajektórií v lokálnom, regionálnom a nadregionálnom meradle a skúsenosti s ich interpretáciou boli standardnou výbavou predpovednej služby.

LITERATÚRA

- [1] International Atomic Energy Agency: Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Safety Series No. 75-INSAG-1. IAEA, Vienna, 1986.
- [2] Klug,W., 1992, Evaluation of Long Range Atmospheric Transport Models Using Environmental Radioactivity Data from Chernobyl Accident: ATMES Report. Elsevier Science Publishers, Elsevier Applied Science, London and New York.

INFORMÁCIE

INFORMATION

KLIMATICKÝ ATLAS SLOVENSKA VYŠIEL KNIŽNE

Podklady pre Klimatický atlas Slovenska vznikali v rokoch 2010–2015 v rámci projektu „Vývoj technológie priestorového spracovania údajov o klimatickom systéme“, ktorý bol spolufinancovaný Európskou úniou z Európskeho fondu regionálneho rozvoja, ITMS kód: 26220220102. Miestom realizácie projektu boli regionálne pobočky Slovenského hydrometeorologického ústavu v Banskej Bystrici, Košiciach a Gánovciach. Na odbornej stránke atlasu sa podieľalo 17 klimatológov, tím 14 ľudí tvoril technickú podporu projektu a kartografické a GIS spracovanie atlasu zabezpečovala firma ESPRIT, s. r. o. z Banskej Štiavnice.

V ďalšom procese bola pripravená knižná publikácia Klimatický atlas Slovenska, ktorá tvorí súborné kartografické atlasové dielo, obsahujúce klimatické mapy. Z hľadiska časopriestorových súvislostí je doplnené grafmi a tabuľkami. Grafické časti atlasu tematicky dopĺňa sprievodný vysvetľujúci text v slovenskom aj anglickom jazyku.

V období pred 2. svetovou vojnou bol najcelenejším atlasovým dielom v ČSR národný Atlas Republiky Československej (1935), obsahujúci aj klimatické mapy. Prvým, a pre územie Slovenska zároveň do dnešných čias jediným klimatickým atlasom, bol Atlas podnebia Československej republiky (1958) spracovaný za obdobie 1901–1950. V publikácii Agroklimatické podmienky ČSSR (1975) bolo mapovo spracované štandardné normálové obdobie 1931–1960 pre mnohé klimatické prvky a ich charakteristiky. Atlas SSR (1980) bol súborným atlasom a v kapitole Ovzdušie a vodstvo obsahoval vybrané klimatické a fenologické mapy. Atlas krajiny Slovenskej republiky (2002) mal v sekcií 4.3 Ovzdušie mapovo spracované vybrané klimatické prvky a ich charakteristiky.



KLIMATICKÝ ATLAS SLOVENSKA

CLIMATE ATLAS OF SLOVAKIA

Cieľom Klimatického atlasu Slovenska bolo pokračovať v tradíciách predchádzajúcich mapových diel, a najmä nadviazať na Atlas podnebia Československej republiky, a to po tematickej ako aj časovej stránke.

Referenčným obdobím pre spracovanie údajov bolo obdobie 1961–2010. Pri niektorých klimatologických prvkoch sa však v rámci Klimatického atlasu Slovenska, vzhľadom na dostupnosť údajov, akceptovali aj kratšie obdobia 1965–2010, prípadne 1981–2010.

Údaje pre atlas pochádzajú zo staničných sietí SHMÚ. Namerané a napozorované údaje prešli niekoľkostupňovou manuálnou a automatizovanou kontrolou. Mesačné hodnoty klimatologických (resp. fenologických) prvkov a charakteristik prešli procesom homogenizácie dlhých časových radov. Homogenizácia bola realizovaná v prostredí MASH (Szentimrey, 1999), v ktorom prebiehala aj kompletizácia časových radov. Súbory údajov pre jednotlivé mapy boli individuálne spracované v prostredí geografických informačných systémov.

V atlase boli spracované najdôležitejšie charakteristiky meteorologických prvkov nielen z hľadiska vlastnosti daného prvku, ale aj z hľadiska klimatologickej praxe. V rámci každej kapitoly sú publikované mapy ročných, vybraných mesačných, prípadne sezónnych hodnôt. V kapitolách je aj časový priebeh prvkov počas referenčného obdobia, extrémne a priemerné hodnoty klimatických prvkov a charakteristik. Mapy, grafy a tabuľky sú doplnené sprievodnými textami v slovenčine a angličtine, v ktorých je, okrem iného, opísaný ročný, prípadne denný chod prvku, jeho priestorové rozloženie na území Slovenska na základe zemepisnej šírky, dĺžky, nadmorskej výšky. V texte sa nachádzajú aj informácie o najvyšších a najnižších meraných hodnotach.

Obsah Klimatického atlasu SR je rozčlenený na 11 hlavných odborných kapitol, v 12. kapitole sa nachádzajú zoznamy použitých klimatologickej, zrážkomerných a fenologických staníc. Odborným kapitolám predchádzajú úvodné kapitoly, ktoré pridávajú atlasu rámc geografický, historický a metodický.

Odborné kapitoly majú nasledovné členenie:

- Teplota vzduchu
- Atmosférické zrážky
- Sneh a snehová pokrývka
- Vlhkosť vzduchu
- Oblačnosť, slnečný svit a slnečné žiarenie
- Tlak vzduchu a vietor
- Meteorologickej charakteristika vyšej atmosféry
- Nebezpečné atmosférické javy
- Fenologické charakteristiky
- Teplota a premrzanie pôdy
- Klasifikácia klímy

V kapitole „Teplota vzduchu“ sa okrem štandardných máp priemerných mesačných, sezónnych a ročnej teploty vzduchu nachádzajú mapy priemerného trvania obdobia, priemerného nástupu a konca s dennou teplotou väčšou alebo rovnou 5°C , 10°C a 15°C , mapy priemerných početov charakteristických dní (letných, tropických, bez mrazu, s mrazom, ľadových a arktických), pre mrazové dni sú tu aj mapy ich priemerného prvého a posledného dňa ich výskytu.

Druhá kapitola je venovaná atmosférickým zrážkam. Okrem ročnej, sezónnych a mesačných máp priemerného úhrnu atmosférických zrážok, sú tu aj mapy znázorňujúce priemerné počty dní so zrážkami $\geq 0,1\text{ mm}$, 1 mm , 5 mm a 10 mm , priemerné ročné maximá denných, dvojdenných a päťdenných zrážok. Ku kapitole je priradená aj problematika sucha, ktorého epizódy sú zhodnotené vo viacerých mapách podľa rôznych indexov (Palmerov Z-index, SPI, relatívny PDSI).

Charakteristiky sneženia a snehovej pokrývky sú obsahom tretej kapitoly. Táto kapitola obsahuje mapy vyjadrujúce priemerný mesačný a sezónny počet dní so snežením, priemerný sezónny počet dní s novou snehovou pokrývkou $\geq 5\text{ cm}$, 10 cm a 15 cm , priemer sezónnych úhrnov výšky nového snehu, priemerný dátum prvého a posledného sneženia. Druhá časť kapitoly je venovaná

charakteristikám celkovej snehovej pokrývky, sú tu mapy priemerných sezónnych a mesačných početov dní so snehovou pokrývkou, priemerný sezónny počet dní s celkovou snehovou pokrývkou $\geq 10\text{ cm}$, 20 cm a 50 cm , mapy priemerných sezónnych a mesačných maxím výšky snehovej pokrývky, priemer sezónnych maxím vodnej hodnoty snehovej pokrývky a priemerný dátum výskytu prvej a poslednej snehovej pokrývky.

Kapitola „Vlhkosť vzduchu“ nie je venovaná len charakteristikám vlhkosti vzduchu, ale aj výparu. V kapitole sú mapy relatívnej vlhkosti vzduchu, tlaku vodných párov a sýtostného doplnku (priemerné ročné a priemerné mesačné, prípadne priemerné sezónne) a spracovaná je aj mapa priemerného počtu dusných dní. Pre výpar boli spracované mapy: priemerný úhrn výparu z vodnej hladiny, priemerné mesačné a ročné úhrn potenciálnej evapotranspirácie a priemerné mesačné a priemerná ročná hodnota klimatického ukazovateľa zavlaženia.

V ďalšej kapitole sú obsiahnuté charakteristiky oblačnosti, slnečného svitu a slnečného žiarenia. Nachádzajú sa tu mapy priemernej ročnej oblačnosti, priemerného počtu jasných a zamračených dní, priemerný ročný a mesačný slnečný svit a priemerné ročné a mesačné sumy globálneho žiarenia.

Šiesta kapitola je venovaná tlaku vzduchu a vetru. Pre tlak vzduchu sú v Klimatickom atlase Slovenska spracované mesačné a ročná mapa tlaku vzduchu redukovaného na hladinu mora a pre vietor sú spracované sezónne a ročná mapa priemernej rýchlosťi vetra. Nachádza sa tu aj mapa, v ktorej sú zakreslené veterné ružice na vybraných staniciach.

Meteorologickej charakteristiky vyšej atmosféry, konkrétnie teplota vzduchu, tlak vzduchu a geopotenciálna výška, vlhkosť vzduchu, tropopauza, medziročné kolísanie teploty vzduchu a geopotenciálu a celkový atmosférický ozón, sú spracované v siedmej kapitole.

Z nebezpečných atmosférických javov je v ôsmej kapitole spracovaný výskyt búrok, krupobitia, hmly, silného a búrlivého vetra na našom území.

Deviata kapitola je venovaná vybraným fenologickým charakteristikám. Nachádzajú sa tu mapy priemerného dátumu začiatku kvitnutia liesky obyčajnej, čerešne vtácej, priemerného dátumu vzchádzania, klasenia a plnej zrelosti pšenice ozimnej a jačmeňa jarného.

Mapy priemernej maximálnej hĺbky premrzania pôdy a priemerného počtu dní s premŕzaním pôdy a nachádzajú v kapitole „Teplota a premrzanie pôdy“.

Jedenásťta kapitola je venovaná klimatickej klasifikácii podľa Končeka, kde je okrem mapy klimatickej klasifikácie za referenčné obdobie, publikovaná pre porovnanie aj mapa klimatickej klasifikácie za štandardné normálové obdobie 1961 – 1990.

Okrem máp sa v texte nachádza množstvo grafov a tabuľiek, ktoré obsahujú ďalšie informácie o prezentovaných klimatických prvkoch a ich charakteristikách. V kapitolách nechýbajú ani fotografie prístrojov a javov.

Klimatický atlas Slovenska je obsahovo aj graficky profesionálne spracované dielo. Je dostupný v tlačenej aj elektronickej verzii (CD). Na www stránke Slovenského

hydrometeorologického ústavu sú dostupné aj on-line aplikácie, kde sú vybrané mapové produkty voľne dostupné.

Klimatický atlas Slovenska (tlačenú + CD verziu) je možné si objednať na [www stránke SHMÚ](http://www.shmu.sk).

*Katarína Mikulová
SHMÚ, Bratislava*

KONFERENCIA „ČERNOBYL 1986 – MINULOSŤ, DÔSLEDKY, VÝCHODISKÁ“

Tridsiate výročie černobylskej havárie bolo podnetom na usporiadanie vedeckej konferencie, ktorá by sa na túto tragickú udalosť v dejinách mierového využívania atómovej energie pozrela z pohľadu technického, ale aj sociálneho a historického. Organizátormi boli Ústav pamäti národa, Slovenský hydrometeorologický ústav a Slovenská akadémia vied. Konferencia sa konala v deň výročia 26.4.2016 v Žrkadlovej sieni Primaciálneho paláca za účasti oficiálnych hostí, takmer dvadsiatky prednášajúcich a odbornej verejnosti.

V úvode konferencie vystúpil veľvyslanec Rakúskej republiky pán Helfried Carl, za ÚPN pán Ondrej Krajnák, za SHMÚ pán Martin Benko a pani Daniela Ježová za SAV.

Terézia Melicherová z SHMÚ prezentovala história a súčasnosť radiačného monitoringu prevádzkovaného od roku 1963 v SHMÚ. Uviedla príklady z rozsiahleho archívu radiačných dát, ktoré poukazujú na skutočnosť, že úplne najvyššie hodnoty rádioaktivity v atmosfére boli na našom území namerané v 60. rokoch v dôsledku globálnej kontaminácie nadzemnými skúškami jadrových zbraní.

Štefan Škulec, bývalý generálny riaditeľ SHMÚ, informoval o ďalšej činnosti SHMÚ v čase havárie: o výpočte modelov šírenia kontaminovaných vzduchových más nad Európu a osobitne nad našim územím.

Pavel Povinec z Katedry jadrovej fyziky FMFI UK hovoril zo svojej bohatej odbornej praxe o environmentálnom dopade havárie na Európu a svet.

Martina Dubníčková z Úradu verejného zdravotníctva ozrejmila poslanie Odboru ochrany zdravia pred žiarením. Na výsledkoch z čias havárie ukázala, že došlo ku kontaminácii zložiek životného prostredia a potravinového reťazca, ale že to boli hodnoty, ktoré si nevyžiadali zavedenie rozsiahlych ochranných opatrení.

Aj Helena Cabáneková a Denisa Nikodemová zo Slovenskej zdravotníckej univerzity prezentovali svoju osobnú skúsenosť s monitorovaním v čase havárie a rovnako poukázali na to, že úroveň kontaminácie bola naozaj pozorne sledovaná a boli urobené potrebné opatrenia na zabezpečenie ochrany obyvateľstva, aj keď sa o nich vo vtedajších médiach dostatočne neinformovalo.

Vladimír Slugeň zo STU sa venoval problému havárie podrobne technicky a poukázal aj na súčasný stav kultúry bezpečnosti na jadrových elektrárnach.

Mikuláš Turner z Úradu jadrového dozoru prezentoval kroky medzinárodného spoločenstva, ktoré sú výsledkom poučení z jadrových havárií, a sú dokladom zvyšujúcej sa bezpečnosti jadrových elektrární.

SAV prispela k programu konferencie príspevkami Jána Salaja a Martina Hajducha, ktorí sa dlhorocne venujú výskumu bezpečného pestovania plodín v kontaminovaných oblastiach.

Konstantin Nikolajevič Loganovský z Národného výskumného centra radiačnej medicíny v Kyjeve sa podelil o výsledky svojich dlhorocných lekárskych výskumov v oblasti rádiobiológie a psychológie na pacientoch postihnutých ionizujúcim žiareniom počas havárie.

Oksana Liščišinová z Veľvyslanectva Ukrajiny celkove zhodnotila dopad havárie na život postihnutej krajiny.

Sergej Rezničenko pridal do programu konferencie svoju osobnú skúsenosť. Pracoval pri likvidácii havárie ako vodič nákladného auta. Odmiesol si nielen zdravotné následky, ale aj trpkú skúsenosť, že mu nebola zo strany štátu poskytnutá primeraná starostlivosť.

Franz Kossler, bývalý korešpondent rakúskej ORF v Moskve, zaspomínal na problémy so šírením informácií v podmienkach sovietskeho režimu.

Ján Kalous z Ústavu pre štúdium totalitných režimov v Prahe sa vo svojom vystúpení pozastavil nad nezmyselnosťou presunu časti cyklistických Pretekov mieru do oblasti Kyjeva a snahe vtedajších štátnych predstaviteľov bagatelizovať rozsah havárie.

Príspevky pracovníkov ÚPN Petra Jašeka a Františka Neupauera boli venované hodnoteniu informovanosti o havárii a jej dôsledkoch v podmienkach totalitného režimu. Peter Blažek z Ústavu pre štúdium totalitných režimov v Prahe sa zase zameral na súvislosť medzi haváriou a oponičným hnutím v Československu.

Osobitný pohľad na haváriu priniesla Michaela Bušovská, ktorá pracuje ako delegátka cestovnej kancelárie poriadajúcej zájazdy do kontaminovanej oblasti havarowanej elektrárne.

Konferencia mala rozsiahly mediálny ohlas, názory odborníkov boli prezentované v rôznych formách. Naviac, Ústav pamäti národa v spolupráci s SHMÚ pripravuje monografiu, v ktorej budú širšie rozpracované témy prednášok z konferencie. Spojeným úsilím zainteresovaných sa podarilo otvoriť problém jadrovej havárie z pohľadu viacerých disciplín a podať naozaj komplexný pohľad na jednu z najväčších priemyselných havárií našich novodobých dejín.

*Terézia Melicherová
SHMÚ, Bratislava*

PERSONÁLIE

PERSONALS

ZA ING. OTAKAROM MALÝM

V máji toho roku by sme si pripomenuli deväťdesiatiny Ing. Otakara Malého. No Ing. Malý sa ich už nedožil. Zomrel 2. marca 2016.

Narodil 11. mája 1926. Rodiskom mu bola Nitra, avšak od šiestich rokov až do konca života bol v Bratislave. Na vysokú školu začal chodiť v roku 1945. Ešte pred skončením štúdia na Slovenskej vysokej škole technickej na odbore konštruktívne, dopravné a vodné hospodárstvo, nastúpil v januári 1952 do svojho prvého zamestnania. Jeho prvým pôsobiskom bol Výskumný ústav hydrologický, oddelenie povrchových vód. Na tomto pracovisku, ktoré v tom čase viedol akademik Oto Dub, bol druhým vysokoškolákom, po RNDr. Jurajovi Paclovi, CSc. Ich spolupráca pretrvala po dlhé roky a osobné kontakty ešte dlhšie.

Po úspešnom ukončení vysokoškolských štúdií nastúpil na dvojročnú vojenskú prezenčnú službu v Dukle Praha. V roku 1954, keď sa vrátil na ústav, hydrologická služba sa reorganizovala a hydrológia sa stala súčasťou Hydrometeorologického ústavu so sídlom v Prahe. Hned po príchode na pracovisko čakal príkaz podplukovníka Jozefa Zítku, vtedajšieho riaditeľa HMÚ, odísť do Brna a do Prahy na zácvik v odbore podzemných vód. S Ing. Otakarom Malým sa počítalo do funkcie vedúceho oddelenia podzemných vód. V Brne sa na zácvik dostal k Ing. Dr. Miroslavovi Čermákovi. V Prahe sa priúčal u Ing. Papouška na HMÚ u Ing. Slepíčku a Dr. Zajíčka na VÚV. Vyzbrojený novými poznatkami prevzal oddelenie podzemných vód, kde zaviedol nové pracovné postupy a metódy. Najprv prebudoval, či skôr vybudoval, novú pozorovaciu sieť podzemných vód a nahradil zarážané trubky vrtmi. Pod jeho taktovkou sa výsledky rozširujúceho monitoringu zverejnili v prvých ročenkách podzemných vód.

Spolu s RNDr. Jánom Šubom navrhli založenie Hydrofondu, ako hydrologický pendant ku Geofondu. V spolupráci s Ing. Daňkovou s Prahy a s Ing. Otevřelom z Brna, vypracovali všetky dokumenty potrebné na jeho realizáciu. Týmto krokom sa v oblasti podzemných vód HMÚ zaradil medzi progresívne ústavy Európy.

Od roku 1969 bol Ing. Malý menovaný do funkcie námestníka pre hydrológiu. V tejto funkcií naplno zúročil najmä svoje organizačné schopnosti a mimoriadny cit a intuiciu pre riadenie a rozvoj praktickej hydrológie a pre jej modernizáciu. Slovenská hydrológia pod jeho vedením uplatnila najnovšie trendy pri budovaní monitorovacích sietí, začalo sa celoplošne s využívaním modernej výpočtovej techniky pri hromadnom spracovaní údajov, pracovníci hydrológie na SHMÚ sa v nebyvalej miere zapájali do riešenia aplikačných výskumných úloh a projektov nielen doma, ale aj v zahraničí. Za všetky inovácie, ktoré zaviedol do hydrologickej praxe, možno spomenúť napríklad snímkovanie snehovej pokrývky a stanovovanie jej vodnej hodnoty.

Ing. Malý inicioval založenie metodických poriad jednotlivých hydrologických odborov. Tie priniesli postupné zjednotenie metodických postupov, mnohé smernice na celostátnej úrovni, výmenu a zlepšovanie pracovných postupov dennej praxe nielen v teréne, ale aj v prácach pri využívaní a spracovaní materiálov. Tieto stretnutia priniesli mnoho neformálnych spoluprác, čo sa v podstate odrazilo na skvalitnení služby aj na celkovom vývoji hydrológie.

Okrem mnohej priekopníckej práce v obore nielen podzemných vód, ale v celej hydrológií ústavu, mal veľké zásluhy aj v iných veciach, ktoré s rozvojom ústavu súviseli. Napríklad, stavby obidvoch nových budov ústavu na Kolibe nesú významné známky jeho spolupráce.

Aj podporu vývoja diaľkového prenosu údajov z vodomerných staníc spájame s jeho menom. Najviac však spomíname na jeho veľkorysosť ku kolegom, najmä však k mladým ambicioznym pracovníkom, pre ktorých vytváral maximálne možný priestor a všeestrannú podporu.

Za výsledky svojej práce dostal zlaté medaily ČHMÚ aj SHMÚ, ako aj rezortné a štátne ocenenia „Budovateľ vodného hospodárstva“ a „Za vynikajúcu prácu“.

Obraz Ing. Otakara Malého dotvára jeho účinkovanie v športe. Nielen v zamestnaní, ale v celom jeho živote mu učarovala voda. Začínal ako plavec vo svojich pätnásťich rokoch. Skoro nechal závodné plávanie a už vo svojej

dvadsiatke bol veľmi aktívny a úspešný plavecký tréner. Výsledky jeho práce s mládežou sa odzrkadlili na úspechoch vtedajšieho Slovenského plaveckého klubu. V tom čase to bol trvalo suverénny víťaz majstrovstiev ČSR v mládežníckych kategóriách. Preto sa mu dostalo cti viesť ako tréner čs. plavcov na Olympijských hrách v roku 1952 v Helsinkach. Po návrate z Helsínk nastúpil ako tréner plaveckého oddielu Dukla Praha. Keď končil vojenskú službu dostał veľmi veľa ponúk na trénerskú prácu, no pre kariéru trénera sa nerozhodol. Vrátil sa k hydrológii a šport mu ďalej zostal koničkom. Neskôr začal sa venovať ďalšiemu športu, opäť spojenému s vodou. V roku 1955 bol spoluzakladateľ Yacht Clubu Slovan Bratislava a členom jeho výboru bol vyše 50 rokov. Od roku 1959 do roku 1993 bol členom výboru Čs. zväzu jachtingu, zväčša vo funkcií predsedu Trénerskej rady. Ešte po osemdesiatke pracoval v predsedníctve Slovenského zväzu jachtingu a v kolégii Fair play Slovenského olympijského výboru.

Ako v práci, aj v športe jeho aktívna činnosť bola ocenená mnohými vyznamenaniami – Zlatým odznakom ČSTV a SZTK, titulom zaslúžilý tréner, je držiteľom „Strieborných olympijských kruhov“ Slovenského Olympijského výboru, držiteľ ceny Fair play a ďalších uznanií. Za ocenenie „Vzorný dobrovoľný pracovník v telovýchove“ v roku 2002 dostał ako jediný Slovák od Medzinárodného olympijského výboru v Ženeve Bronzovú sošku, a tú si cenil snáď najviac.

Ing. Otakar Malý v posledných rokoch statočne bojoval so svojou chorobou. Ani v posledných týždňoch a dňoch nestrácal svoju myseľ, dokonca ani zmysel pre humor. Keď som sa s ním dohovárala o článku k jeho jubileu, chcel si ho prečítať vopred. A pri poslednom stretnutí ma požiadal odovzdať pozdravy všetkým bývalým kolegom a kamarátom. Sľúbila som mu to. Bohužiaľ, tých okrúhlin sa už nedožil. A ja plním svoj slub touto spomienkou na mimoriadne vzácneho, priateľského a prajného človeka.

Ol'ga Majerčáková

ŽIVOTNÉ JUBILEUM ONDREJA HYBKÉHO

V deň, keď som nastupoval do zamestnania na SHMÚ stretol som na „našej“ chodbe stretol človeka, budúceho kolegu, ktorý sa práve chystal osláviť svoje 50. narodeniny. Na prvý pohľad vyzeral prísne a zároveň skúmavo, podanie rúk však bolo srdečné.

Tento rok som na SHMÚ dvadsať rokov, a Ondrej Hybký sa dožil krásnych 70 rokov, pri tejto príležitosti som si uvedomil, že pred 20 rokmi vtedy pre mňa neznámeho človeka som mal možnosť spoznať služobne aj súkromne. Je pre mňa cťou, že som stretol človeka, ktorý mi bol, a stále je, priateľom, poradcом, a o ktorom môžem napísat' zopár slov.

Ondrej Hybký sa narodil 1. marca 1946 na území Maďarska (Nagyléta) ako tretie dieťa do slovenskej rodiny žijúcej mimo Slovensko. Zanedlho sa spolu s rodičmi a svojimi ďalšími 3 súrodencami prešťahovali na stredné Slovensko, k dedinke Pstruša na Podboky. Tu žil odmalička v úzkom kontakte s prírodou, k čomu ho viedol aj jeho otec, ktorý sa staral o kone a v okolí bol známym veterinárom hospodárskych zvierat. Ako typický chlapec strávil detstvo predovšetkým vonku, v prírode. Od malička tu spoznával slovenskú flóru aj faunu a pomáhal otcovi pri zvieratách. To predurčilo celú jeho profesijnú orientáciu.

Prirodzený bol výber strednej školy Stredná priemyselná škola lesnícka v Banskej Štiavnici Tu získal nielen teoretické vedomosti, ale aj praktické zručnosti, zaujímavé a dôležité pre život človeka späťho s prírodou.

Po maturite pokračoval v štúdiu na Vysokej škole lesníckej a drevárskej vo Zvolene, kde sa venoval ochrane lesov a poľovníctvu. Popri štúdiu a množstve záujmov sa venoval aj tancom v súbore ľudových tancov Poľana, kde spoznal aj svoju budúcu manželku Kvetoslavu. Štúdium však z rodinných dôvodov nedokončil.

18.8.1969 prekročil prah Slovenského hydrometeorologickej ústavu v Bratislave a zostal mu verný až do odchodu do dôchodku.

Celý svoj profesijný život zasvätil budovaniu meteorologickej staničnej siete, starostlivosť o kvalitu meraní meteorologickej staníc, vďaka svojim, pedagogickým a ľudským schopnostiam dokázal vychovať množstvo pozorovateľov a zaškolíť množstvo revízorov v rámci celého Slovenska.

Podieľal sa na tvorbe mnohých metodík a predpisov v oblasti meraní, spracovaní a revízii nameraných meteorologickej údajov. Bol spoluautorom vnútrostátnnej kódovanej správy INTER, Návodu pre dobrovoľných pozorovateľov zrážkomerných staníc, aktívne sa podieľal na preklade Návodu pre pozorovateľov meteorologickej staníc ČSSR do slovenčiny, podieľal sa na optimalizácii klimatologickej a meteorologickej staničnej siete.

Napriek tomu, že mal dlhoročné skúsenosti a vedomosti z klimatologickej monitoringu, nad nikým sa nepovyšoval. Vždy bol pripravený poradiť, pomôcť každému, kto o to prejavil záujem, alebo Ondrej na to nejakým šiestym zmyslom prišiel, že pomôcť jednoducho treba.

Aj po odchode do dôchodku je Ondrej v rámci svojich možností, lebo dôchodcovia sú veľmi zaneprázdení, ochotný prísť a poradiť v odbornej oblasti, alebo iba dobehnuť na obyčajne ľudské slovo.

Chcem mu aj touto cestou nie len za seba, ale aj jeho bývalých kolegov podakovať za všetko, čo pre nás vykonal, znamenal a do ďalších rokov života chcem Ondrejovi zo srdca popriať ďalšie pevné zdravie, veľa radosti z vnúčat, úspechov pri záhradníčení a neutíchajúci elán a spokojnosť v osobnom živote.

*Dalibor Galo
SHMÚ, Bratislava*