

ISSN 1335-339X

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2021

ROČNÍK 24 - ČÍSLO 2
VOLUME 24 - NUMBER 2



SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

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

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

PREDSEDA REDAKČNEJ RADY – EDITORIAL BOARD CHAIRMAN

Norbert Polčák, SHMÚ, Bratislava

TECHNICKÁ REDAKTORKA – TECHNICAL EDITOR

Katarína Pukančíková, SHMÚ, Bratislava

REDAKČNÁ RADA – EDITORIAL BOARD

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

Martin Benko, SHMÚ, Bratislava

Rudolf Brázdil, MU (Masaryk University), Brno

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

Branislav Chvíla, SHMÚ, Bratislava

Martin Kremler, SHMÚ, Bratislava

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

Danica Lešková, SHMÚ, Bratislava

Oľga Majerčáková, SHMÚ, Bratislava

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

Irena Michlíková, SHMÚ, Bratislava

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

Pavol Nejedlík, SHMÚ, Bratislava

Vladimír Pastirčák, SHMÚ, Bratislava

Jana Poórová, SHMÚ, Bratislava

Anna Pribullová, SHMÚ, Gánovce

Zora Snopková, SHMÚ, Banská Bystrica

Janka Szemesová, SHMÚ, Bratislava

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

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

Štefan Škulec, SHMÚ, Bratislava

Jaroslav Škvarenina, TU (Technical University), Zvolen

Pavel Šťastný, SHMÚ, Bratislava

Radim Tolasz, ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute), Ostrava

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

Jozef Vivoda, SHMÚ, Bratislava

Pavol Zaujec, SHMÚ, Bratislava

VYDAVATEĽ – EDITOR

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, december 2021

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

IČO 00 156 884

R. č. MK SR: 3268/09

ISSN 1335-339X

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2021

ROČNÍK 24 – ČÍSLO 2

VOLUME 24 – NUMBER 2

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

THE ROLE OF WATER VAPOR IN THE CLIMATE CHANGE PROCESS IN SLOVAKIA	
Milan Lapin, Ingrid Damborská	67
IS THE NUMBER OF SULTRY DAYS INCREASING IN HURBANOVO?	
Kristína Szabóová	75
TROPICAL NIGHTS BASED ON NIGHT-TIME MINIMUM TEMPERATURE IN HURBANOVO, 1945 – 2021	
Ľubomír Babin, Jozef Pecho, Milan Onderka, Pavol Faško, Dalibor Výberčí	85
SATELLITE PRODUCTS AT SHMÚ AND THEIR POTENTIAL IN MONITORING PRECIPITATION AND DROUGHT	
Ján Kaňák, Ľuboslav Okon, Martin Madara, Marián Jurašek, Ladislav Méri, Kateřina Hrušková, Marcel Zvolenský	93
AIR AND HEALTH IN SLOVAKIA WITHIN THE YEARS 2010 – 2020	
Michal Mladý, Katarína Pukančíková, Veronika Mináriková, Blanka Paveleková	105

INFORMATION

Evaluation of negotiations on Climate Change Conference of Parties in Glasgow	
Janka Szemesová	117
Drought monitoring in the vegetation season 2021	
Maroš Turňa	118
Published report of the violent tornado in Moravia in June 2021	
Miroslav Šinger	122
International Pyrheliometer Comparison IPC XIII	
Anna Pribullová	124
Two important hydrological conferences in September 2021	
Danica Lešková, Eva Kopáčíková	126
Young scientist conference 2021	
Alena Blahová	128
Clean Air Forum	
Zuzana Jonáček	129
Air Protection Conference	
Janka Szemesová	129
Department of Emissions and Biofuels introduced the new webpage	
Janka Szemesová	130

PERSONALS	131
------------------------	-----

OBSAH

ÚLOHA VODNEJ PARY V PROCESE ZMENY KLÍMY NA SLOVENSKU	
Milan Lapin, Ingrid Damborská	67
ZVYŠUJE SA V HURBANOVE POČET DUSNÝCH DNÍ?	
Kristína Szabóová	75
TROPICKÉ NOCI PODĽA NOČNEJ MINIMÁLNEJ TEPLoty VZDUCHU V HURBANOVE (1945 – 2021)	
Ľubomír Babin, Jozef Pecho, Milan Onderka, Pavol Faško, Dalibor Výberčí	85
SATELITNÉ PRODUKTY NA SHMÚ S POTENCIÁLOM MONITORINGU ZRÁŽOK A SUCHA	
Ján Kaňák, Ľuboslav Okon, Martin Madara, Marian Jurašek, Ladislav Méri, Kateřina Hrušková, Marcel Zvolenský	93
OVZDUŠIE A ZDRAVIE NA SLOVENSKU V ROKOCH 2010 – 2020	
Michal Mladý, Katarína Pukančíková, Veronika Mináriková, Blanka Paveleková	105

INFORMÁCIE

Zhodnotenie rokovaní na Klimatickej konferencii v Glasgowe	
Janka Szemesová	117
Monitoring sucha vo vegetačnom období 2021	
Maroš Turňa	118
Vydaná podrobná správa o silnom tornáde na Morave v júni 2021	
Miroslav Šinger	122
Medzinárodná pyrheliometrická kampaň IPC XIII	
Anna Pribullová	124
Dve významné hydrologické konferencie v septembri 2021	
Danica Lešková, Eva Kopáčíková	126
Súťažná Konferencia mladých odborníkov v roku 2021	
Alena Blahová	128
Fórum o čistom ovzduší	
Zuzana Jonáček	129
Konferencia o ovzduší	
Janka Szemesová	129
Odbor Emisie a biopalivá predstavil novú webovú stránku	
Janka Szemesová	130

PERSONÁLIE	131
-------------------------	-----

ÚLOHA VODNEJ PARY V PROCESE ZMENY KLÍMY NA SLOVENSKU

MILAN LAPIN, INGRID DAMBORSKÁ

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave

Possible increase of averages and extremes of air temperature (T) in the coming decades, due to anthropogenic climate change may also cause significant changes in the characteristics of atmospheric humidity. The outputs of general atmospheric circulation models (GCM) are used to quantify these processes. In this paper we focused on the analysis of the measured daily values of temperature and humidity in the period 1961–2020 and their comparison with scenarios KNMI and MPI prepared by using the reference period 1961–1990 data at several meteorological stations in Slovakia. Selected characteristics of air humidity important from the point of view of the occurrence of drought, heavy rainfall and threats to human health are presented. Based on the model outputs, we can state that the SRES A1B average emission scenario significantly underestimates the observed development of climate change, and we should consider rather more extreme (pessimistic) scenarios.

Možné zvýšenie priemerov a extrémov teploty vzduchu (T) v nasledujúcich desaťročiach vplyvom antropogénnej podmienej zmeny klímy môže viesť k významným zmenám charakteristík vzdušnej vlhkosti. Na kvantifikáciu týchto procesov sa používajú výstupy z modelov všeobecnej atmosférickej cirkulácie (GCM). V tomto príspevku sme sa zamerali na analýzu nameraných denných hodnôt teploty a vlhkosti vzduchu v období 1961–2020 a ich porovnanie so scénármi KNMI a MPI pripravenými na základe referenčného obdobia 1961–1990 na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku. Za týmto účelom boli spracované charakteristiky vzdušnej vlhkosti dôležité z hľadiska výskytu sucha, výdatných zrážok a tiež ohrozenia ľudského zdravia. Výsledky analýz svedčia o tom, že klimatická zmena sa prejavuje na zmenách vlhkostných charakteristík v období 1961–2020 podstatne viac ako predpokladali klimatické modely KNMI a MPI so stredným emisným scénárom SRES A1B, takže by sme mali brať do úvahy skôr extrémnejšie (pesimistické) scenáre.

Key words: climate change, air temperature and humidity, negative impacts of climate change

ÚVOD

Vodná para hrá mimoriadne dôležitú úlohu v klimatickom systéme Zeme (Peixoto a Oort, 1993; Chrgjan, 1978). V prvom rade ide o najdôležitejší skleníkový plyn, ktorý sa podieľa na celkovom skleníkovom efekte atmosféry asi 2/3 (IPCC, 2014). Dôležité je tiež to, že vodná para v atmosfére závisí od teploty atmosféry a teploty povrchu oceánov rozdielne pri parciálnom tlaku vodnej pary nad rovinou vodnou plochou a rovinou plochou ľadu, navyše v závislosti od obsahu prímies vo vode (hlavne rozpustených solí). Zjednodušená závislosť tlaku vodnej pary od teploty vzduchu v stave nasýtenia a pri rôznej relatívnej vlhkosti vzduchu je na Obr. 1 pre podmienky nad hladinou vody. Vidíme tam, že pri raste teploty vzduchu o 1°C sa zvyšuje množstvo vodnej pary v atmosfére asi o 6 %, ak sa nemení relatívna vlhkosť vzduchu. Výsledkom tejto skutočnosti je stav, že v polárnych oblastiach Zeme je v jednotke objemu asi len desatina z množstva vodnej pary v tropickom pásme Zeme, extrémny rozdiel je až vyše 100-násobok. Celkové množstvo vodnej pary v atmosfére Zeme sa odhaduje na $12\,900\text{ km}^3$, pričom jej priemerné zotrvanie v atmosfére Zeme je 9 dní. V atmosfére Zeme je asi 100-krát viac vody v plynnom ako v kvapalnom alebo pevnom skupenstve. Vzhľadom na to, že na severnej pologuli sa zvýšila priemerná teplota prízemnej atmosféry asi o $1,3^{\circ}\text{C}$ a priemerná teplota povrchu oceánov asi o $1,0^{\circ}\text{C}$ (Obr. 2) v porovnaní so stavom v druhej polovici 19. storočia, je zrejmé, že sa zvyšuje aj množstvo vodnej pary v atmosfére asi o 5 %,

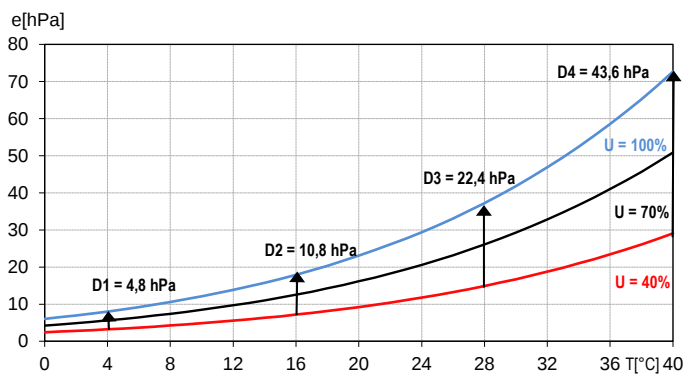
pretože trochu poklesla relatívna vlhkosť vzduchu nad kontinentami.

V globálnom hydrologickom cykle zaznamenávame obrovské hodnoty. Výpar z oceánov predstavuje za rok podľa rôznych výpočtov hodnoty od $424\,600$ do $451\,400\text{ km}^3$, na kontinentoch od $61\,000$ do $71\,500\text{ km}^3$ (Peixoto a Oort, 1993), podľa starších odhadov je to $505\,000\text{ km}^3$ na oceánoch a na kontinentoch $72\,000\text{ km}^3$ (Netopil et al., 1984). Úhrn zrážok sa odhaduje na oceánoch okolo $384\,900$ až $404\,400\text{ km}^3$ a na kontinentoch $107\,200$ až $111\,100\text{ km}^3$ (Peixoto a Oort, 1993), staršie odhady hovoria o $458\,000$ a $119\,000\text{ km}^3$ (Netopil et al., 1984).

Vodná para dosahuje v prízemnej atmosfére obvykle nižšiu hodnotu ako je stav nasýtenia, čo pri priemernej relatívnej vlhkosti znamená, že na kontinentoch sú mesačné hodnoty okolo 90 % vo vlhkých mesiacoch a okolo 50 % v suchých mesiacoch. Regionálne rozdiely však môžu byť iné. V dlhodobom priemere v rámci Slovenska v období 1951–1980 to bolo napríklad v kotlinách v decembri 90 % a v Hurbanove v apríli 66 % (Zborník prác SHMÚ 33/I, 1991). Ešte väčšie rozdiely sú v okamžitých hodnotách relatívnej vlhkosti vzduchu, ktoré môžu extrémne dosiahnuť na horách iba niekoľko % v strede mohutných anticyklón v chladnom polroku (Klíma Tatier, 1974). Z charakteristík vlhkosti vzduchu sú určite zaujímavé prípady výskytu parciálneho tlaku vzduchu nad $18,7\text{ hPa}$ (považované za stav dusna v strednej Európe), a taktiež vysokých hodnôt sýstotného doplnku (nad 15 hPa), ktoré významne zvyšujú denné sumy potenciálnej evapotranspirácie (Obr. 1, Lapin et al., 2015).

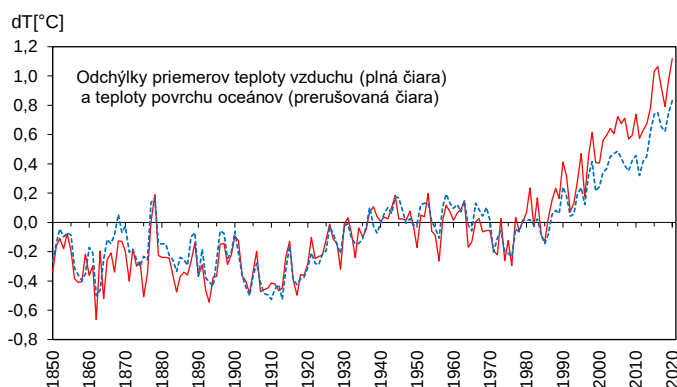
Obrázok 1. Závislosť tlaku vodnej pary (e) nad rovinným povrchom čistej vody od teploty vzduchu pre rôzne hodnoty relatívnej vlhkosti vzduchu (U). D je sýtosťný doplnok pri relatívnej vlhkosti vzduchu 40 %. Spracované podľa Psychrometrických tabuliek SHMÚ (1989).

Figure 1. Dependence of water vapor pressure (e) over the plane and clean water surface on temperature for different values of relative humidity (U). D is saturation deficit at relative humidity 40%. Elaborated according to Psychrometric tables of SHMÚ (1989).



Obrázok 2. Ročné priemery odchýlok teploty vzduchu a teploty povrchu oceánov na severnej pologuli v období 1850–2020 od normálu 1961–1990 podľa údajov Hadley a Climatic Research Unit (Anglicko).

Figure 2. Annual means of average air temperature and sea surface temperature deviations from the 1961–1990 normal over the Northern Hemisphere in 1850–2020 (by the Hadley a Climatic Research Unit data, England).



Od roku 1993 pripravujeme na Slovensku scenáre možnej klimatickej zmeny na základe modifikácie výstupov globálnych (GCM) a regionálnych (RCM) modelov atmosférickej dynamiky v závislosti od očakávanej koncentrácie skleníkových plynov a zmien iných faktorov (Lapin a Melo, 2004). Od roku 2010 aplikujeme v OMK novšie komplexné GCM a RCM s dennými výstupmi teploty a vlhkosti vzduchu do roku 2100 (Lapin et al., 2012). V tomto príspevku sa zameriame na analýzu priebehu meraných denných hodnôt teploty a vlhkosti vzduchu v období 1961–2020 a ich porovnanie so scenármi spracovanými na základe referenčného obdobia 1961–1990 na viacerých meteorologických staniciach na Slovensku. Hlavným zameraním tohto článku je teda analýza vývoja vodnej pary v čase klimatickej zmeny na Slovensku a posúdenie jej možných dôsledkov. Ide predovšetkým o evapotranspiráciu, ale aj o intenzívne zrážky a riziko škodlivej kombinácie teploty a vlhkosti vzduchu.

VSTUPNÉ ÚDAJE A METODIKA

Vlhkosť vzduchu sme analyzovali iba na základe denných priemerov teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu a tlaku vodnej pary podľa meraní na meteorologických staniciach Hurbanovo (115 m n.m.), Bratislava-Koliba (286 m n.m.), Piešťany (165 m n.m.), Košice-letisko (230 m n.m.), Poprad (695 m n.m.) a Telgárt (901 m n.m.) v období 1961–2020, teda za 2 za sebou idúce normálové obdobia 1961–1990 a 1991–2020. Výber meteorologických staníc spočíval na zistených poznatkoch o dobrej kvalite merania vlhkosti vzduchu a časovej homogenite meraní v celom období spracovania. Keďže výstupy GCM a RCM predstavujú denné priemery teploty a vlhkosti vzduchu, pri spracovaní sme vychádzali tiež z denných priemerov. Z dvoch staníc (Hurbanovo a Poprad) sme použili aj modifikované denné výstupy scenárov teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu podľa meraných údajov z referenčného obdobia 1961–1990 a modelov KNMI a MPI, emisný scenár SRES A1B (Lapin et al., 2012).

Vzhľadom na to, že vo výstupoch GCM a RCM sú k dispozícii iba denné priemery relatívnej vlhkosti vzduchu, tak sme aj merané údaje vlhkosti vzduchu hodnotili dvomi metódami – podľa denných priemerov meraných údajov tlaku vodnej pary a aj podľa denných priemerov meraní relatívnej vlhkosti vzduchu, ktoré sú vypočítané z 3 klimatických termínov o 7., 14. a 21. h SMC ako aritmetický priemer. Takýto výpočet prináša so sebou určité rozdiely v denných a najmä mesačných priemeroch vlhkosťných charakteristík (tlak vodnej pary, sýtosťný doplnok), ktoré sú tým väčšie, čím je väčšia denná (mesačná) amplitúda teploty vzduchu, keďže závislosť tlaku vodnej pary od teploty vzduchu je exponenciálna (Obr. 1). Eliminovať sa to dá Oldekopovou opravou $d = 0,09 A^2 (d^2 e^* / dT^2)$, napríklad pri výpočte tlaku vodnej pary v stave nasýtenia, kde A je odchýlka denného (mesačného) maxima teploty vzduchu od denného (mesačného) priemeru (Nosek, 1973), čo sme v tomto prípade nerobili. Pri použití denných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu na výpočet denných priemerov tlaku vodnej pary sme najprv vypočítali denný priemer nasýtenej vodnej pary pri danej teplote, pričom sme pre záporné priemery teploty vzduchu použili odlišný tvar Magnusovho vzorca v exponente $9,5 T / (265,5 + T)$ a pre kladné $7,45 T / (235 + T)$, kde T je denný priemer teploty v °C (Meteorologický slovník, 1993). Existujú aj iné tvary Magnusovho vzorca, výsledné rozdiely sú ale malé. Následne sme z denných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu vypočítali denné priemery tlaku vodnej pary. Hodnotili sme aj odchýlky od meraných údajov tlaku vodnej pary, boli všeobecne malé (v Hurbanove v ročnom priemere 0,09 hPa, v januári a decembri $-0,10$ a $-0,12$ hPa a v auguste 0,28 hPa, v Poprade v ročnom priemere $-0,03$ hPa, v januári a decembri $-0,17$ a $-0,18$ hPa, v auguste a septembri 0,10 hPa). Je to prijateľná presnosť výpočtov. Z Obr. 6 ale vyplýva, že jednoduché

denné priemery tlaku vodnej pary poskytujú pri niektorých analýzách nižšie hodnoty, čo sa prejavuje napríklad na znížení počtu dní s dusnom (môže to byť ovplyvnené aj tým, že termíny o 7., 14. a 21. h SMČ nereprezentujú dobre denný chod tlaku vodnej pary).

Na základe analýzy sme získali rad zaujímavých výsledkov, z ktorých v tomto príspevku prezentujeme limitovaný výber. Základom je hodnotenie denných priemerov tlaku vodnej pary (e), z ktorých sa dá vypočítať početnosť dusných dní ($e = 18,8$ hPa a viac), dní so silným dusnom ($e = 21$ hPa a viac) alebo s veľmi silným dusnom ($e = 24$ hPa a viac), a taktiež aj zhodnotenie dní s priemerným tlakom vodnej pary nižším ako 3 hPa. Ďalším zaujímavým výsledkom je trend mesačných a sezónnych priemerov tlaku vodnej pary, ktorý je jednou z charakteristických vlastností klimatickej zmeny, keď rastie množstvo vodnej pary v atmosfére napriek poklesu priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu.

Podobné charakteristiky ako pre tlak vodnej pary sme spracovali aj pre denné hodnoty sýtosťného doplnku $D = e^* - e$ (medzi stavom vzduchu nasýteného vodnou parou pri danej teplote vzduchu a skutočným tlakom vodnej pary e) (Obr. 1). Sýtosťný doplnok je hlavným faktorom určujúcim potenciálnu evapotranspiráciu (E_0), ktorá je mimoriadne dôležitým klimatickým a hydrologickým prvkom ovplyvňujúcim hydrologickú alebo vlahovú bilanciú krajiny. Ďalšími fyzikálnymi faktormi vplyvujúcimi na veľkosť E_0 sú radiačná bilancia (B) a turbulentný prenos vlhkosti od vyparujúceho sa povrchu (K). Zjednodušene sa to dá vyjadriť ako $E_0 = f(D, B, K)$, kde D je najdôležitejším prvkom ovplyvňujúcim zvyšovanie E_0 . Na pracovisku OMK počítame hodnoty E_0 podľa Budykovej metódy upravenej Tomlainom pre pomery Slovenska už od roku 1951. Rozdiel v porovnaní s inými metódami je tu v tom, že sýtosťný doplnok D sa počíta vzhľadom na teplotu vyparujúceho sa povrchu, ktorá sa určuje zo zjednodušenej rovnice radiačnej a energetickej bilancie (Tomlain, 1980; Hrvoľ et al., 2001; Lapin et al. 2015).

ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Úvodné poznámky

Spracovanie denných údajov za 60 rokov zo 6 meteorologických staníc a na základe scenárov klimatickej zmeny z 2 meteorologických staníc za obdobie 1951–2100 prinieslo veľké množstvo detailných údajov, z ktorých v tomto článku prezentujeme len časť. Na začiatku uvedieme niekoľko informácií o význame hodnotenia vlhkostných pomerov.

Teplota a vlhkosť vzduchu patria medzi faktory, ktoré značnou mierou určujú aj tepelnú pohodu človeka. Množstvo vodnej pary vo vzduchu zohráva dôležitú úlohu pri tepelnom hospodárení ľudského organizmu. Od stupňa nasýtenia vzduchu vodnou parou závisí odparovanie vody z povrchu tela. V suchom vzduchu sa množstvo odparenej vody zväčšuje až štvornásobne na rozdiel od pobytu vo vlhkom vzduchu pri rovnakej teplote. Suchý vzduch odoberá slizniciam dýchacích ciest vlhkosť, čím ich vysušuje a pôsobí dráždivo. Vo vlhkej atmosfére sa človek začne potiť pri fyzickej činnosti skôr, a to už pri teplote vzduchu 25 °C a relatívnej vlhkosti 60 %, zatiaľ čo tú istú činnosť vykoná

bez potenia pri teplote vzduchu do 38 °C a relatívnej vlhkosti 20 % (Kolesár, 1989).

Človek ťažko znáša veľmi vlhký a zároveň teplý vzduch. Ak je tlak vodnej pary vo vzduchu taký vysoký, že dochádza k obmedzenému odparovaniu, nastávajú vážne poruchy v termoregulácii a vzniká pocit dusna. Kvapky potu, ktoré pri vysokej relatívnej vlhkosti vzduchu stekajú z povrchu kože bez odparovania, sa nezúčastňujú na termoregulácii organizmu a nemajú schladzovací účinok. Následne dochádza k prehriatiu organizmu (Matoušek, 1988)). V suchom vzduchu však človek pomerne ľahko znáša aj vysoké teploty.

Vlhkosť vzduchu teda značne pôsobí na výmenu tepla v organizme. Zvlášť nepriaznivo na človeka vplýva vysoká relatívna vlhkosť vzduchu presahujúca 70–75 %, ak je teplota okolitého vzduchu 30 °C, nakoľko podporuje nadmerné prehrievanie organizmu. Trvalé pôsobenie vlhkej a studenej atmosféry vedie u človeka k vzniku a zhoršeniu chorobných stavov. Nepriaznivo vplýva na ľudí s chorobami kardiovaskulárneho systému a zaťažuje termoregulačné mechanizmy organizmu, čo sa prejavuje na zníženej pracovnej schopnosti ľudí (Ambruš a kol., 1955).

Vlhkosť ovzdušia ovplyvňuje tiež dýchanie. V pľúcach vplyvom určitých biologických oxysličovacích procesov vzniká teplo. Veľká časť takto produkovaného tepla sa absorbuje vdychovaním vzduchu, čiže vzduch pôsobí ako ochladzovacie médium. Ochladenie pľúc je tým silnejšie, čím je vzduch suchší. Suchý vzduch odoberá slizniciam vlhkosť, vysušuje ich a pôsobí na ne dráždivo. Vlhký vzduch naopak znižuje odparovanie z pľúc a má na ich činnosť upokojujúci vplyv. Teplý vzduch bez ohľadu na nasýtenie vodnou parou znižuje spotrebu kyslíka v pľúcach a zároveň zrýchľuje ich činnosť, zatiaľ čo studený a vlhký vzduch zvyšuje spotrebu kyslíka (Matoušek a Barcal, 1967).

Vo vzduchu s vysokou vlhkosťou vzniká väčšie riziko šírenia infekcií pomocou tzv. mikróbných kvapôčok. Veľké množstvo mikróbov potrebuje pre svoj rast vlhké prostredie. Pri takmer nasýtenom vzduchu dochádza na mikróbných časticách ku kondenzácii vodnej pary a následne k vzniku mikróbných kvapôčiek, ktoré sa vyznačujú oveľa väčšou schopnosťou difúzie ako suché častice, v dôsledku čoho môžu preniknúť hlboko do pľúc (Hensel a Petrovič, 1976).

Súhrnným pôsobením vysokej teploty a vlhkosti vzduchu na ľudský organizmus vzniká pocit dusna pri slabom vetre. Keďže ide o subjektívny pocit, výskyt dusna sa hodnotí na základe parciálneho tlaku vodnej pary a za dusný deň sa považuje taký, počas ktorého bola zaznamenaná hodnota tlaku vodnej pary vyššia ako 18,7 hPa. Dusné počasie sa u nás vyskytuje v teplej časti roka, väčšinou v popoludňajších hodinách. Zvlášť vo veľkomestách s koncentrovanou zástavbou, bez dostatočných plôch zelene a s obmedzeným prúdením vzduchu, ľudia veľmi často pociťujú dusno, najmä pred búrkou s pribúdaním oblačnosti a vodnej pary vo vzduchu. Hranicou pre pocit dusna je pri 100 % relatívnej vlhkosti teplota vzduchu 16,5 °C, pri relatívnej vlhkosti 50 % teplota 27,9 °C a pri vlhkosti 30 % teplota vzduchu až 36,9 °C. Dusno má na človeka a niektoré živočíchy nepriaznivé fyziologické účinky. Jeho škodlivý vplyv sa prejavuje u astmatikov, kardiakov, hypertonikov aj

starších osôb vzhľadom k zvýšeným nárokom na termoreguláciu a kardiovaskulárny systém (Damborská, 1994).

Človek okrem dusna tiež nepriaznivo vníma drsné počasie (chladné, veterné, suché) a sychravé počasie (chladné, vlhké, často s hmlou a vetrom).

Samozrejme, vzduch s neprirodzene vysokou alebo nízkou vlhkosťou pri vysokej teplote vzduchu má aj rad negatívnych účinkov na rastliny a živočíchy, ktoré nie sú na takéto podmienky adaptované. Vlhkosť vzduchu nepriamo ovplyvňuje intenzitu transpirácie rastlín a najväčší význam má v tzv. kritických obdobiach, kedy je vyparovanie také intenzívne, že prívod vody z pôdy nestačí pokryť spotrebu, v dôsledku čoho rastliny vädnú. Tieto kritické obdobia sa vyskytujú v letných mesiacoch v hodinách s najvyššou teplotou vzduchu, silnejším prúdením a nízkou relatívnou vlhkosťou. Keďže rastliny vyparujú vodu prieduchmi, výpar vody je možný len vtedy, keď sú prieduchy otvorené. Transpirácia je tým väčšia, čím nižšia je vlhkosť vzduchu a naopak. Pri nedostatočnej transpirácii dochádza k zníženiu až zastaveniu rastovej aktivity rastlín, k prehrievaniu listov ako aj k zhoršeniu kvality rastlín v dôsledku zoslabenia ste-

ny buniek a zníženia pevnosti rastlinných pletív. Pri maximálnej vlhkosti vzduchu je intenzita transpirácie nulová. Na druhej strane, veľmi vlhký a teplý vzduch ako aj veľmi vlhký a chladný vzduch urýchľuje rozširovanie niektorých chorôb rastlín. Pri štúdiu ekológie chorôb a škodcov rastlín sa prejavuje priamy účinok vlhkosti vzduchu a mnohé choroby či škodcovia na svoj vývin vyžadujú vysokú relatívnu vlhkosť. Napr. pre vznik a vývoj plesne zemiakovej musí byť vlhkosť vzduchu v prvom dni vyššia ako 80 %, v druhom dni nad 77 % a pod. (Špánik a kol., 1999).

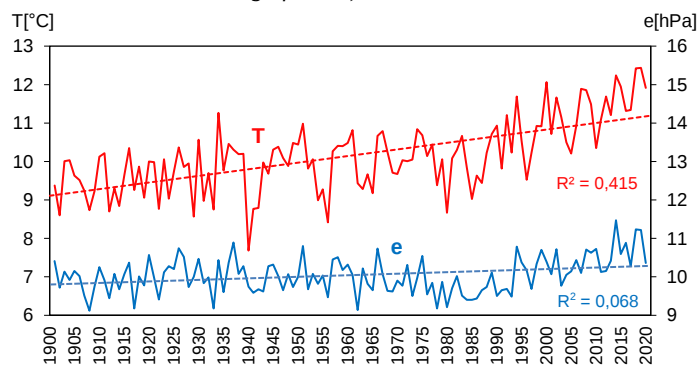
Okrem toho, veľmi teplý vzduch s vysokým sýtosťným doplnkom vedie k zvýšeniu potenciálneho výparu (maximálne možného výparu), ktorý sa ešte zintenzívňuje za slnečného počasia vplyvom výrazného turbulentného prenosu vlhkosti od vyparujúceho sa povrchu do atmosféry. Na základe takých podkladov sa dajú odhadovať požadované závlahové dávky na zabezpečenie optimálnych vlhových podmienok v pôde. Za extrémnych okolností môže evapotranspirácia dosiahnuť u nás až 10 mm za 24 hodín (10 litrov vody na m²), pričom sa závlaha aplikuje raz za 5 až 7 dní. Veľmi vysoká ako aj veľmi nízka vlhkosť vzduchu môže mať tiež negatívne dôsledky na rad materiálov a technologických procesov. Vysoká vlhkosť vzduchu znamená často aj vyššie a intenzívnejšie frontálne a konvektívne zrážky (Gaál et al., 2014).

Konkrétnu analýzu začneme pohľadom na ročné priemery teploty vzduchu a tlaku vodnej pary v Hurbanove v období 1901–2020. Zo spracovania (Obr. 3) vyplýva, že teplota vzduchu vzrástla za sledované obdobie ako lineárny trend o viac ako 2 °C, pričom najrýchlejší rast bol zaznamenaný v období 1980–2020. Tlak vodnej pary stagnoval až do roku 1993, potom mierne vzrástol na hodnoty o málo vyššie ako v období 1920–1975. Nízke priemery tlaku vodnej pary vo vzduchu v období 1976–1993 boli spôsobené jednak nižšou teplotou vzduchu, ako aj cirkulačnými podmienkami s menšími ročnými úhmami zrážok. Tento vývoj sa prejavil na juhu Slovenska vo výraznom poklese relatívnej vlhkosti vzduchu U v období 1901–2020 (Obr. 4). Na severe Slovenska síce nebol pokles U taký výrazný, ale aj tam sme zaznamenali závažné zhoršenie vlhových pomerov, čo vyplynulo z ďalších spracovaní.

Získané výsledky sme porovnávali medzi obdobia 1961–1990 a 1991–2020, v odôvodnených prípadoch sme brali do úvahy aj priemery za posledné desaťročie 2011–2020. Zamerali sme sa na priemery tlaku vodnej pary, sýtosťného doplnku a relatívnej vlhkosti vzduchu a na počet dní s dusnom ($e = 18,8$ hPa a viac), silným dusnom ($e = 21$ hPa a viac) a veľmi silným dusnom ($e = 24$ hPa a viac), taktiež na počet dní s vysokým sýtosťným doplnkom ($D = 10$ hPa a viac a $D = 15$ hPa a viac) a nízkym sýtosťným doplnkom (D menej ako 1 hPa), vysokou relatívnou vlhkosťou vzduchu ($U = 90$ % a viac), nízkou relatívnou vlhkosťou vzduchu ($U = 50$ % a menej a $U = 40$ % a menej). Pre vybrané výsledky prezentujeme časový priebeh charakteristík aj graficky.

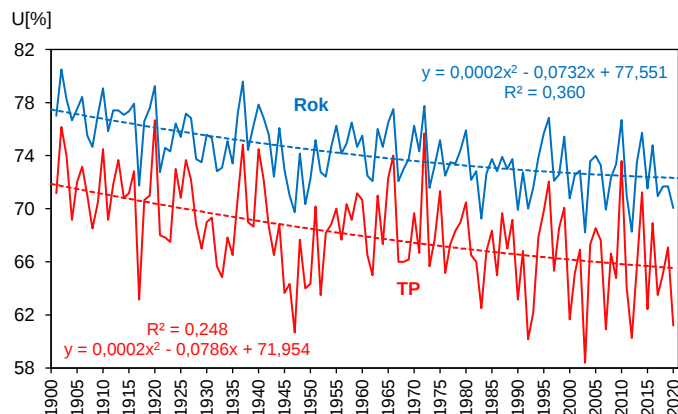
Obrázok 3. Ročné priemery teploty vzduchu (T) a tlaku vodnej pary (e) v Hurbanove v období 1901–2020 podľa údajov SHMÚ (R^2 je koeficient determinácie, ktorý približne charakterizuje významnosť trendu).

Figure 3. Annual means of air temperature (T) and water vapor pressure (e) at Hurbanovo (R^2 is the determination coefficient, approximately characterizes the trend significance).



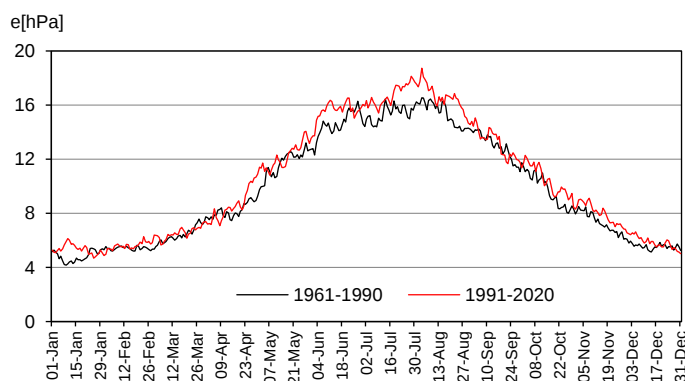
Obrázok 4. Priemerná relatívna vlhkosť vzduchu (U) za roky a teplé polroky (TP) 1901–2020 v Hurbanove (podľa údajov SHMÚ).

Figure 4. Annual and Warm half-year means of relative humidity (U) at Hurbanovo In 1901–2020 (by the SHMÚ data).



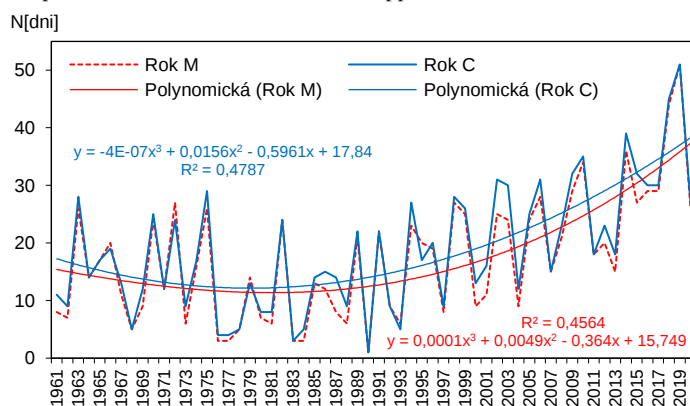
Obrázok 5. Ročný chod denných priemerov tlaku vodnej pary v Hurbanove v obdobiach 1961–1990 a 1991–2020 (podľa meraní SHMÚ).

Figure 5. Annual course of daily water vapor pressure means at Hurbanovo in 1961–1990 and 1991–2020 (by the SHMÚ data).



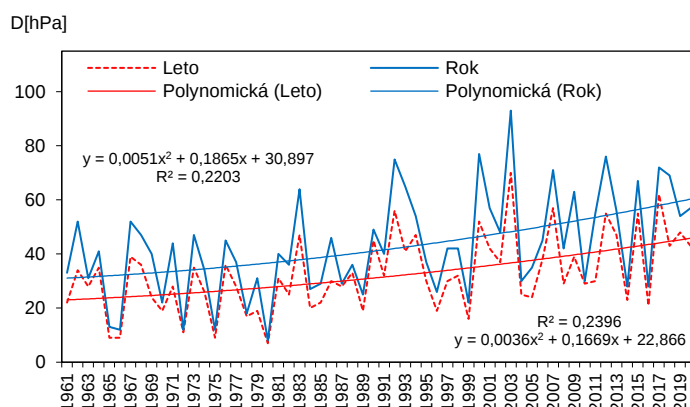
Obrázok 6. Počet dní s dusnom za roky 1961–2020 v Hurbanove podľa denných priemerov tlaku vodnej pary (M – z meraní tlaku vodnej pary v sieti staníc SHMÚ, C – z výpočtu podľa denných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu). Predpokladáme, že hodnoty C sú bližšie k skutočnosti.

Figure 6. Average number of sultry hot days at Hurbanovo in 1961–2020 (by daily means of water vapor pressure). M – calculated by measured water vapor pressure, C – calculated from daily relative humidity and air temperature means. The C values are supposed as more reliable.



Obrázok 7. Počet dní so sýtosťným doplnkom (D) 10 hPa a viac za roky 1961–2020 v Hurbanove (spracované z denných priemerov meraného tlaku vodnej pary a tlaku nasýtenej vodnej pary pri dennom priemere teploty vzduchu).

Figure 7. Average number of days with saturation deficit (D) 10 hPa and more at Hurbanovo in 1961–2020 (calculated from measured daily means of water vapor pressure and daily mean saturated water vapor pressure).



Z Obr. 5 je zrejmé, že ročný chod tlaku vodnej pary (e) bol v Hurbanove v období 1991–2020 podstatne odlišný ako v období 1961–1990, najmä v lete. To sa odrazilo nielen na ročnom počte dní s dusnom (Obr. 6), ale aj na počte dní so sýtosťným doplnkom (D) 10 hPa a viac (Obr. 7). Keďže sme používali výlučne iba denné priemery klimatologických údajov, porovnali sme výsledky výpočtov na základe priamych meraní (e) z 3 denných termínov ako aj nepriamy výpočet z priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu (U) (Obr. 6). Rozdiely nie sú veľké, ale v prípade výpočtu podľa U sú niektoré charakteristiky vlhkosti vyššie, ako to vyplýva zo spracovaní z ostatných meteorologických staníc. Ak by sme aplikovali Oldekopovú opravu, tak by boli hodnoty D v lete aj o viac ako 1 hPa vyššie (Nosek, 1972).

Spracované výsledky meraní zo 6 meteorologických staníc a scenárov z 2 meteorologických staníc

Meranie a spracovanie vlhkosti vzduchu je zaťažené viacerými náhodnými a systematickými chybami. Vzhľadom na to sme na analýzu zvolili len tie meteorologické stanice, pri ktorých sme mali predpoklad vyššej spoľahlivosti merania za celé obdobie 1961–2020. Výsledky prezentujeme iba v tabelárnom formáte (Tab. 1 a 2) kvôli úspore priestoru.

Z Obr. 3 je vidieť, že podľa lineárneho trendu rastie ročná priemerná teplota vzduchu v Hurbanove od roku 1901 o niečo viac ako 2 °C, pričom približne rovnaký lineárny trend rastu pozorujeme aj od roku 1980. To znamená, že podstatná časť vysokých priemerov teploty vzduchu sa vyskytovala v posledných 3 desaťročiach (1991–2020). Keď to porovnáme pre vybrané meteorologické stanice, tak priemer teploty vzduchu v období 1991–2020 bol v Hurbanove o 1,2 °C vyšší ako v období 1961–1990, v Košiciach na letisku o 1,3 °C vyšší a v Poprade o 0,9 °C vyšší.

Priemerný meraný tlak vodnej pary (e) za rok bol v Hurbanove v období 1991–2020 o 0,6 hPa vyšší a v období 2011–2020 o 0,9 hPa vyšší ako v období 1961–1990, v Bratislave na Kolibe o 0,4, resp. o 0,8 hPa, v Piešťanoch o 0,6, resp. o 0,8 hPa, v Košiciach na letisku o 0,5, resp. o 0,7 hPa, v Poprade o 0,6, resp. o 0,9 hPa a v Telgárte o 0,5, resp. o 0,8 hPa. Je vidieť, že rozdiely medzi stanicami nie sú veľké. Pri relatívnej vlhkosti vzduchu (U) to bolo inak, v Hurbanove bola v období 1991–2020 o 1,1% nižšia a v období 2011–2020 až o 1,8% nižšia ako v období 1961–1990, v Bratislave na Kolibe o 2,2%, resp. o 2,3% nižšia, v Piešťanoch o 0,6, resp. o 1,5% nižšia, v Košiciach na letisku o 2,5, resp. 3,8% nižšia, v Poprade o 0,1, resp. o 0,5% nižšia a v Telgárte o 0,6, resp. o 1,1% nižšia. Relatívna vlhkosť vzduchu ale klesá dosť rovnomerne už od roku 1901 (Obr. 4).

Tabuľka 1. Priemery a počet dní s charakteristickou hodnotou klimatického prvku v obdobiach 1961 – 1990 a 2011 – 2020 pre 6 meteorologických staníc SHMÚ na Slovensku (Tlak vodnej pary a Sýtočný doplnok 1 je vypočítaný z denných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu a 2 z denných priemerov tlaku vodnej pary).

Table 1. Averages and number of days with the characteristic value of climatic element in 1961 – 1990 and 2011 – 2020 periods for 6 meteorological stations SHMÚ in Slovakia (Water vapor pressure and Saturation deficit (1) are calculated from daily relative humidity means and (2) from daily water vapor pressure means).

		1961-1990	1991-2020	2011-2020	1961-1990	1991-2020	2011-2020	1961-1990	1991-2020	2011-2020	1961-1990	1991-2020	2011-2020	1961-1990	1991-2020	2011-2020	1961-1990	1991-2020	2011-2020
		Hurbanovo			Bratislava, Koliba			Piešťany			Košice, letisko			Poprad, letisko			Telgart		
Tlak vodnej pary 1	Priemer za rok v hPa	9,9	10,5	10,7	9,5	9,9	10,3	9,5	10,1	10,3	9,3	9,8	10,0	7,8	8,4	8,7	7,5	8,0	8,3
	e=18,8 hPa a viac	13,1	24,6	31,3	8,4	13,0	18,6	9,0	17,0	19,6	9,0	17,3	22,9	0,3	1,8	2,6	0,3	1,2	1,8
	e=21 hPa a viac	2,6	6,9	11,0	1,3	2,5	4,4	1,0	3,4	4,5	1,2	3,6	4,7	0	0,0	0,0	0	0,1	0,1
	e=24 hPa a viac	0,0	0,4	0,6	0	0,1	0	0	0,2	0,3	0,0	0,4	0,3	0	0	0	0	0	0
	e= menej ako 3 hPa	12,1	7,3	5,2	13,0	9,0	6,8	14,7	10,4	8,0	18,4	14,8	12,2	37,2	30,0	23,9	40,4	34,2	29,3
Tlak vodnej pary 2	Priemer za rok v hPa	9,8	10,4	10,7	9,4	9,8	10,2	9,3	9,9	10,2	9,3	9,8	10,0	7,8	8,4	8,7	7,6	8,1	8,4
	e=18,8 hPa a viac	11,9	22,8	29,5	7,5	11,5	17,3	7,8	14,1	16,6	8,2	17,5	22,8	0,3	2,3	3,2	0,4	1,4	2,2
	e=21 hPa a viac	2,2	5,9	9,7	1,0	2,0	3,6	0,5	2,8	3,5	0,9	3,8	5,2	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1
	e=24 hPa a viac	0,1	0,2	0,2	0	0,0	0	0	0,1	0,2	0,0	0,3	0,2	0	0	0	0	0	0
	e= menej ako 3 hPa	9,8	5,8	4,7	11,3	7,4	5,8	12,2	8,2	6,5	15,7	12,4	10,5	31,0	25,8	20,2	33,3	28,6	24,1
Relatívna vlhkosť	Priemer za rok v %	73,7	72,6	71,9	74,1	71,9	71,8	74,3	73,8	72,8	75,7	73,2	71,9	75,6	75,5	75,1	78,8	78,2	77,7
	U=viac ako 90 %	35,3	38,0	35,7	58,1	53,4	58,1	33,1	36,9	34,7	54,2	50,6	52,1	31,4	35,1	38,7	66,6	67,2	70,1
	U=menej ako 50 %	12,9	19,6	21,3	18,7	32,6	35,0	11,0	13,2	15,7	8,7	20,1	27,7	5,0	7,7	10,8	5,7	7,3	8,9
	U=menej ako 40 %	1,3	1,8	2,0	2,0	5,1	5,4	1,4	1,2	1,3	0,9	3,0	5,0	0,5	0,6	1,4	1,3	0,9	1,5
Sýtočný doplnok 1	Priemer za rok v hPa	4,2	4,8	5,1	4,1	4,8	5,1	3,8	4,3	4,6	3,5	4,3	4,7	2,7	3,0	3,2	2,2	2,4	2,6
	D=15 hPa a viac	4,2	11,3	13,6	4,5	13,8	16,9	1,9	6,6	9,4	0,9	5,0	6,8	0,1	0,3	0,6	0	0,0	0
	D=10 hPa a viac	30,8	49,2	54,1	31,1	52,1	58,1	18,6	34,0	41,7	15,3	35,2	47,2	2,7	6,3	8,8	1,0	2,6	3,6
	D= menej ako 1 hPa	67,4	60,4	55,3	83,0	69,4	70,0	66,5	64,1	55,1	88,5	74,3	69,2	92,4	86,5	83,4	124,7	117,5	112,5
Sýtočný doplnok 2	Priemer za rok v hPa	4,3	4,9	5,1	4,1	4,9	5,2	3,9	4,4	4,7	3,5	4,3	4,7	2,7	3,0	3,1	2,1	2,4	2,5
	D=15 hPa a viac	5,4	12,6	14,6	5,3	15,1	17,7	3,0	8,5	11,5	1,2	5,6	7,5	0,1	0,5	0,9	0	0,1	0,0
	D=10 hPa a viac	33,7	51,9	56,2	33,9	54,6	59,7	23,2	38,1	45,6	17,3	36,8	48,8	3,4	7,3	9,9	1,0	2,7	3,3
	D= menej ako 1 hPa	73,6	65,5	61,4	86,3	73,0	73,6	73,3	70,8	60,0	95,3	79,0	73,3	103,1	97,7	92,8	135,9	126,4	121,8

Tabuľka 2. Priemery a počet dní s charakteristickou hodnotou klimatického prvku v obdobiach 1961 – 1990, 1991 – 2020, 2021 – 2050 a 2051 – 2100 v Hurbanove a v Poprade podľa scenárov MPI a KNMI (modifikácia výstupov regionálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry pre emisný scenár SRES A1B, podľa metodiky prezentovanej v Lapin et al., 2012).

Table 2. Averages and number of days with the characteristic value of climatic element in 1961 – 1990, 1991 – 2020, 2021 – 2050 and 2051 – 2100 periods for Hurbanovo and Poprad meteorological stations by the MPI and KNMI models (Statistical modification (downscaling) of regional general atmosphere circulation climate change models, emission scenario SRES A1B, using method presented in Lapin et al., 2012).

		1961-1990	1991-2020	2021-2050	2051-2100	1961-1990	1991-2020	2021-2050	2051-2100	1961-1990	1991-2020	2021-2050	2051-2100	1961-1990	1991-2020	2021-2050	2051-2100
		Hurbanovo MPI				Hurbanovo KNMI				Poprad MPI				Poprad KNMI			
Teplota vzduchu	Priemer za rok v °C	10,0	10,6	11,2	12,9	10,0	10,4	11,2	12,8	5,8	6,3	7,0	8,6	5,8	6,3	7,0	8,6
	T=20 °C a viac	46,5	55,6	62,6	89,2	44,8	51,1	64,8	89,3	6,5	8,4	12,0	26,4	7,8	8,4	10,9	28,8
	T=24 °C a viac	11,8	15,2	18,0	35,7	12,2	14,2	18,6	38,0	0,1	0,2	0,7	3,6	0,4	0,5	1,1	7,0
	T=27 °C a viac	1,7	3,5	4,1	12,2	2,5	3,1	5,3	15,5	0	0,0	0,0	0,5	0	0	0,1	1,4
Tlak vodnej pary	Priemer za rok v hPa	9,8	10,0	10,5	11,6	9,9	10,1	10,6	11,6	7,7	7,9	8,3	9,2	7,8	7,9	8,4	9,2
	e=18,8 hPa a viac	13,6	14,4	21,5	40,7	12,1	15,0	24,3	42,4	0,8	0,9	2,5	8,4	0,2	0,0	1,5	5,6
	e=21 hPa a viac	4,3	4,7	7,8	19,0	2,4	2,9	7,9	18,4	0	0,0	0,4	2,0	0	0	0,0	0,7
	e=24 hPa a viac	0,3	0,4	1,6	4,9	0,1	0,1	0,7	3,6	0	0	0	0,1	0	0	0	0,0
	e= menej ako 3 hPa	8,9	9,6	5,8	3,8	14,2	14,9	9,2	5,3	34,1	32,5	27,2	16,1	38,0	38,7	30,9	20,0
Relatívna vlhkosť	Priemer za rok v %	73,7	71,9	72,2	71,7	73,7	72,9	72,8	72,4	75,6	74,8	74,9	75,0	75,6	74,6	75,0	74,8
	U=viac ako 90 %	44,1	38,7	32,6	26,5	36,6	38,2	35,6	37,6	31,6	32,6	27,1	27,2	25,6	25,1	25,6	28,9
	U=menej ako 50 %	13,1	19,1	17,9	16,0	13,2	16,9	18,6	21,6	11,7	13,6	14,6	12,9	7,6	10,8	10,3	11,8
	U=menej ako 40 %	2,2	2,0	2,9	2,4	1,6	2,3	2,1	3,7	2,2	3,0	3,9	3,0	1,4	2,8	2,5	2,7
Sýtočný doplnok	Priemer za rok v hPa	4,2	4,7	4,7	5,4	4,2	4,4	4,7	5,4	2,8	3,0	3,1	3,5	2,7	3,0	3,0	3,6
	D=15 hPa a viac	5,7	6,9	7,5	15,1	6,6	7,5	10,4	21,0	0,2	0,3	1,0	2,1	0,6	0,8	0,8	4,6
	D=10 hPa a viac	29,5	39,4	36,9	54,4	27,4	33,0	39,5	56,5	4,7	6,0	7,2	12,5	6,0	6,6	7,9	18,5
	D= menej ako 1 hPa	67,8	58,9	48,3	35,1	65,5	64,2	56,5	49,4	97,7	88,4	78,8	68,2	90,9	86,5	79,5	71,4

Na režim vlhkosti vzduchu má určitý vplyv aj zmena úhrnov zrážok. V priemere na Slovensku bol ročný úhrn zrážok podľa údajov SHMÚ v období 1991–2020 o 6,1% vyšší ako v období 1961–1990, v Hurbanove o 9,0% vyšší, v Košiciach na letisku o 1,1% nižší a v Poprade o 9,8% vyšší. Treba však podotknúť, že obdobie 1961–1990 bolo najchudobnejšie normálové obdobie na zrážky od 1901 (v období 1901–1960 boli úhrny zrážok v SR o 4,9% vyššie ako v období 1961–1990).

Sýtostný doplnok (D) sa zvýšil v Hurbanove za rovnaké obdobia o 0,6, resp. o 0,9 hPa, v Bratislave na Kolibe o 0,8, resp. o 1,0 hPa, v Piešťanoch o 0,5, resp. o 0,9 hPa, v Košiciach na letisku o 0,8, resp. o 1,2 hPa, v Poprade o 0,3, resp. o 0,5 hPa a v Telgarte o 0,3, resp. o 0,4 hPa. Rozdiely nie sú zdanlivo veľké, ale relatívne to znamená zvýšenie D o 13 až 22% v období 1991–2020 a o 21 až 34% v období 2011–2020 v porovnaní s obdobím 1961–1990 (v Poprade o trochu menej). Je celkom zrejme, že také zvýšenie D sa významne podpísalo na raste potenciálnej evapotranspirácie, teda aj na požiadavkách na zavlažovanie poľnohospodárskych plodín. Sýtostný doplnok tiež rastie už od roku 1901.

V Tab. 1 sú uvedené vybrané charakteristiky ročného počtu zaujímavých dní z pohľadu vlhkostných pomerov. Je zreteľne vidieť významný rast počtu dní s dusnom ($e = 18,8$ hPa a viac), silným dusnom ($e = 21$ hPa a viac) a veľmi silným dusnom ($e = 24$ hPa a viac). Počet takých dní sa najmä v období 2011–2020 zvýšil niekoľkonásobne a to nielen na horských, ale aj na nížinných staniciach. Vysoký počet dní s e nad 18,7 hPa predstavuje pre človeka záťaž kvôli dusnu, ako aj zvýšené riziko intenzívnych zrážok za vhodných meteorologických podmienok v súvislosti s väčším množstvom vodnej pary v atmosfére. Naopak, počet dní s nízkym tlakom vodnej pary (nízkym obsahom vodnej pary v atmosfére) klesol na nížinách zhruba na polovicu, na horách asi o tretinu. Hoci sa počet dní s vysokou relatívnou vlhkosťou vzduchu U nad 90% príliš nezmenil, počet škodlivých dní s relatívnou vlhkosťou vzduchu pod 50, resp. 40% dramaticky vzrástol. V podstate rovnaké konštatovanie platí aj o zmenách počtu dní s vysokým a nízkym sýtostným doplnkom. Kým pre D menej ako 1 hPa (vlhké dni) bol zaznamenaný malý pokles počtu dní, a to do 18% (v Košiciach do 22%), tak pri počte silne výsušných a výsušných dní ($D = 15$ hPa a viac a $D = 10$ hPa a viac) bol zaznamenaný až násobný nárast počtu takýchto dní za rok. Detailnejšie hodnotenie dní s vysokým D potvrdzuje, že rastie tiež počet a dĺžka takých období, najmä vo vegetačnom období roka.

Pri aplikovaní modifikovaných výstupov regionálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (RCM): KNMI-RACMO-ECHAM5-r3 a MPI-M-REMO-ECHAM5 (skrátene KNMI a MPI, Lapin et al., 2012) sme počítali tie isté charakteristiky použitím rovnakej metodiky ako pre merané údaje. Výpočty sme robili len pre stanice Hurbanovo a Poprad (Tab. 2).

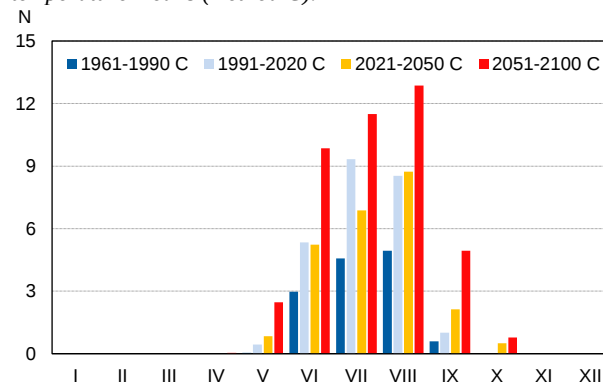
Zo spracovania vidieť, že podľa uvedených modelov sa očakával rast ročných priemerov teploty vzduchu o 0,4 až 0,6 °C v období 1991–2020, o 1,2 °C v období 2021–2050 a o 2,8 až 2,9 °C v období 2051–2100 v porovnaní s obdobím 1961–1990. Merané údaje však vykazujú podstatne väčšie oteplenie, z čoho vyplýva, že stredný emisný

scenár SRES A1B zaostáva za zistenou skutočnosťou v období 1991–2020. Pri priemernom ročnom tlaku vodnej pary je v modelových údajoch KNMI a MPI rast o 0,1 až 0,2 hPa v období 1991–2020, o 0,5 až 0,7 hPa v období 2021–2050 a o 1,4 až 1,7 hPa v období 2051–2100, v porovnaní s obdobím 1961–1990. Aj v tomto prípade rastú merané priemery tlaku vodnej pary rýchlejšie ako predpokladali modely KNMI a MPI.

Priemerná relatívna vlhkosť vzduchu (U) a priemerný sýtostný doplnok (D) by mali byť citlivejšími charakteristikami klimatickej zmeny. Aj v týchto prípadoch predpokladajú RCM KNMI a MPI menšie zmeny ako boli zistené meraniami v období 1991–2020, a najmä 2011–2020. Uvedené modelové výstupy sa prejavili tiež v menšej zmene počtu charakteristických dní spojených so zmenou vlhkostných pomerov. Môžeme teda konštatovať, že stredný emisný scenár SRES A1B značne podhodnocuje zistený vývoj zmeny klímy a mali by sme brať do úvahy skôr extrémnejšie (pesimistickejšie) scenáre. Ilustrovať to môžeme aj ročným chodom priemerného počtu dní s dusnom v Hurbanove, podľa meraní a podľa scenára KNMI (Obr. 8).

Obrázok 8. Zmeny v priemernom počte dní s dusnom (e viac ako 18,7 hPa) za mesiace roka podľa meraní v Hurbanove v období 1961–2020 a podľa scenára KNMI v období 2021–2100. Všetky výpočty boli urobené z priemernej dennej relatívnej vlhkosti a teploty vzduchu (C).

Figure 8. Changes in average number of sultry hot days (e more than 18.7 hPa), calculated by the measured data at Hurbanovo in 1961–2020 and KNMI scenario in 2021–2100 for months. The calculation was done using daily relative humidity and air temperature means (method C).



ZÁVER

Spracovanie charakteristík vlhkosti vzduchu dôležitých z pohľadu výskytu sucha, výdatných zrážok a aj ohrozenia zdravia človeka prinieslo rad zaujímavých výsledkov. Doplnilo tiež naše poznatky o vlhkostných pomeroch na Slovensku, ktoré boli publikované v literatúre (napríklad v Zborníku prác SHMÚ 33/I, 1991 a v Klimatickom atlase Slovenska, 2015).

Hlavným zistením prezentovanej analýzy je skutočnosť, že klimatická zmena sa prejavuje na zmenách vlhkostných charakteristík v období 1961–2020 podstatne viac ako predpokladali klimatické scenáre KNMI a MPI so stredným emisným scenárom SRES A1B. To sa zrejme prejaví na raste počtu nepriaznivých dní a období ovplyvne-

ných rastom teploty, vlhkosti vzduchu a sýtosného doplnku a poklesom relatívnej vlhkosti vzduchu na celom Slovensku. Týkať sa to bude tak výskytu suchých období ako aj intenzívnych zrážok a dní s pocitom dusna. Rast sýtosného doplnku ovplyvní predovšetkým zvyšujúcu sa potenciálnu evapotranspiráciu, ktorú podrobnejšie zhodnotíme v ďalšom príspevku. Zrejmým dôsledkom bude komplexná zmena hydrologickej bilancie krajiny ako aj vlhkostného režimu pôdy so závažným vplyvom na zmenu podmienok pre doterajšie prirodzené ekosystémy, poľnohospodárske plodiny ale aj viaceré sociálne a ekonomické sektory.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla ako jeden z výsledkov riešenia projektu: „Scientific support of climate change adaptation in agriculture and mitigation of soil degradation” (ITMS2014+313011W580) podporovaného z Integrated Infrastructure Operational Programme funded by the ERDF, ako aj využitia údajov Slovenského hydrometeorologického ústavu. Autori ďakujú za podporu výskumu.

LITERATÚRA

- Ambruš, J. a kol., 1955, *Podnebie a zdravie človeka*. Bratislava, SAV, 129 s.
- Damborská, I., 1994, *Hodnotenie tepelného komfortu a diskomfortu vo vybraných miestach Slovenska*. Diplomová práca, UK Bratislava, 86 s.
- Fendeková, M.–Poorová, J.–Slivová, V., (Eds.), 2018, *Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja*. Univerzita Komenského, Bratislava, 300 s., ISBN 978-80-223-4510-1
- Gaál, L.–Beranová, R.–Hlavčová, K.–Kyselý, J., 2014, *Climate change scenarios of precipitation extremes in the Carpathian Region based on an ensemble of regional climate models*. *Advances in Meteorology*, Vol. 2014, 14 p., ID 943487, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/943487>.
- Gera, M.–Damborská, I.–Lapin, M.–Melo, M., 2019, *Climate Changes in Slovakia: Analysis of Past and Present Observations and Scenarios of Future Developments*. In: *Water Resources in Slovakia: Part 2: Climate Change, Drought and Floods*. Vol. 1. ISBN 978-3-319-92864-7. Cham: Springer International Publishing AG, 21 – 47.
- HadCRUT4, 2020, *Temperature*. [url: https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/)
- Hensel, J.–Petrovič, Š., 1976, *Klimatografia kúpeľných a vybraných miest Slovenska*. Osveta, Martin, 419 s.
- Hrvol', J.–Lapin, M.–Tomlain, J., 2001, *Changes and variability in solar radiation and evapotranspiration in Slovakia in 1951-2000*. In: *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*, Vol. 30. Bratislava: Comenius University, 31 – 58. ISBN 80-223-1692-X.
- Chrgjan, A.Ch., 1978, *Fizika atmosféry I a II*. Gidrometizdat, Leningrad. 248 a 320 s. (v ruštine).
- IPCC, 2014, *Climate change 2013. The physical science basis: Cambridge Univer. Press, 1552 p., ISBN: 9781107661820, url: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/*.
- Klíma Tatier, 1974, VEDA, Bratislava, 856 s.
- Klimatický atlas Slovenska, 2015, SHMÚ Bratislava, 132 s. ISBN 979-80-88907-90-9.
- Kolesár, J., 1989, *Humánna bioklimatológia a klimatoterapia*. Osveta, Martin, 352 s.
- Lapin, M.–Melo, M., 2004, *Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 52, No. 4, 224 – 238.
- Lapin, M.–Bašták, I.–Gera, M.–Hrvol', J.–Kremler, M.–Melo, M., 2012, *New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models*. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*. Vol. 37, Comenius University Bratislava, 25 – 73.
- Lapin, M.–Damborská, I.–Gera, M.–Hrvol', J.–Melo, M., 2015, *Trends of evapotranspiration in Slovakia, including scenarios up to 2100*. *International Bioclimatological Conference: Toward Climatic Services*. Slovak Bioclimatological Society SAS, Nitra, 5 pp.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Turňa, M.–Čepčková, E., 2016, *High temperatures and heat waves in Slovakia*. *Slovak Meteorological Journal (Meteorologický časopis)*, Vol. 19, No. 1, 3 – 10. ISSN 1335-339X.
- Matoušek, J., 1988, *Počasí, podněbí a člověk*. Avicenum, Praha, 293 s.
- Matoušek, J.–Barcal, R., 1967, *Základy humánní bioklimatologie*. Čs. bioklimatolog. spol. při ČSAV, Praha, 313 s.
- Meteorologický slovník výkladový a terminologický*, 1993, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 594 s.
- NCCC (1995, 1997, 2001, 2006, 2009, 2014, 2017), *National Communications on Climate Change*, Vol. 1 – 7. Slovak Ministry of the Environment and Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava. [url: http://ghg-inventory.shmu.sk/documents.php](http://ghg-inventory.shmu.sk/documents.php).
- Netopil, R., Brázdil, R., Demek, J., Prošek, P. (1984), *Fysická geografie 1*. SPN, Praha, 272 s.
- Nosek, M., 1972, *Metody v klimatologii*. Academia, Praha, 434 s.
- Peixoto, J.P.–Oort, A.H., 1992, *Physics of Climate*. American Inst. of Physics, Springer, New York, 520 p.
- Psychometrické tabuľky*, 1989, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 108 s.
- Špánik, F. a kol., 1999, *Aplikovaná agrometeorológia*. SPU Nitra, 194 s.
- Tomlain, J., 1980, *Výpar z povrchu pôdy a jeho rozloženie na území ČSSR*. *Vodohospodársky časopis* Vol. XXVIII, No. 2, 170 – 205.
- Zborník prác SHMÚ, 1991, Zv. 33/1, Alfa, Bratislava, 240 s.

ZVYŠUJE SA V HURBANOVE POČET DUSNÝCH DNÍ?

KRISTÍNA SZABÓOVÁ

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Odbor Klimatologická služba, kristina.szaboova@shmu.sk

Sultriness is formed by the interaction of several weather factors. It is the state of the atmosphere when the water vapor pressure exceeds 18.7 hPa. This condition has adverse physiological effects on plants, animals and especially on the human body. For this reason, in this research, emphasis was placed on the time evolution of sultriness at the meteorological station Hurbanovo in the Slovak Republic. The paper will examine the 40-year period (1981–2020). The study is a continuation of the work of Štefan Kveták, who examined the previous 30-year period (1951–1980). We hypothesized that the number of sultry days is also increasing due to climate change. The basis of the whole assumption was hourly data from meteorological stations in the database of the Slovak Hydrometeorological Institute. As the scientific goals of the project, we preferred the categorization of sultriness according to various criteria, the evaluation of their frequency and time trends of occurrence, and we compared their development with the previous period.

Dusno vzniká spolupôsobením viacerých poveternostných faktorov. Je to stav atmosféry, keď tlak vodnej pary prekročí hodnotu 18,7 hPa. Tento stav má na rastlinstvo, živočíchy, a hlavne na ľudský organizmus škodlivé fyziologické účinky. Z tohto dôvodu bol pri výskume kladený dôraz na časový vývoj dusna na meteorologickej stanici Hurbanovo na území Slovenskej republiky. V príspevku bolo skúmané 40-ročné obdobie (1981–2020). Štúdia je pokračovaním práce Štefana Kvetáka, ktorý skúmal predošlé 30-ročné obdobie (1951–1980). Predpokladali sme hypotézu, že vplyvom klimatickej zmeny sa zvyšuje aj počet dusných dní. Základ celého predpokladu tvorili hodinové dáta z meteorologických staníc databanky Slovenského hydrometeorologického ústavu. Ako vedecké ciele projektu sme vytýčili kategorizáciu dusna podľa rôznych kritérií, zhodnotenie ich frekvencie a časových trendov výskytu a porovnali sme ich vývoj s predchádzajúcim obdobím.

Key words: water vapour pressure, sultriness, air temperature, air humidity, meteorological station Hurbanovo

ÚVOD

Zvyšovaním letných horúčav v dnešnej dobe sa do stredobodu pozornosti dostáva vplyv počasia na ľudský organizmus. Touto prácou chceme zistiť, či sa vplyvom klimatickej zmeny zvyšuje na meteorologickej stanici počet dusných dní, čo môže mať negatívny vplyv na zdravotný stav obyvateľstva. V prípade, ak by sa stúpajúci trend potvrdil, bolo by potrebné zvoliť vhodné adaptačné opatrenia. Výsledky práce môžu byť použité aj ako podkladový materiál pre ďalšie bioklimatické, ale aj technické analýzy. Téma má široké využitie nielen pre meteorológov, klimatológov ale napríklad aj pre zdravotníkov, lesníkov, biológov a odborníkov mnohých iných vedných odborov. Hlavným cieľom práce bolo vyhodnotiť časové rozloženie dusna a jeho vývoj na profesionálnej meteorologickej stanici Hurbanovo. Konkrétne, v ktorých ročných obdobiach sa najčastejšie vyskytuje, ktoré mesiace sú ním najviac zasiahnuté a ktorá hodina. Taktiež sme skúmali, aké hodnoty sú pre človeka výhodné, v akých situáciách máme najpríjemnejšie podmienky z pohľadu teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu. Ústav poskytol hodnoty dvoch klimatických ukazovateľov pre meteorologickú stanicu Hurbanovo, a to hodinové údaje o teplote vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu. Obidva za obdobie od roku 1981–2020, vlastne za 40-ročné obdobie. Bez nich by nebolo možné vypočítať tlak vodnej pary, ktorý je nevyhnutným údajom pri špecifikovaní výskytu dusna v našej krajine. Príspevok nadväzoval na prácu K. Scharlaua (Scharlau, 1943). V rámci domácich publikácií bol prevzatý

ako podklad výskumu vedecký článok od Štefana Kvetáka, bývalého pracovníka Slovenského hydrometeorologického ústavu, ktorý v roku 1986 urobil výskum výsušného a dusného počasia v Hurbanove za obdobie 1951–1980 (Kveták, 1986). Zo zahraničnej literatúry sme mali k dispozícii pri spracovaní odborný článok (Zarnowiecky, 2003) v anglickej verzii. Z použitej literatúry boli prevzaté hranice dusna ako to stanovil K. Scharlau, kedy dusno vzniká vtedy, keď tlak vodnej pary prekročí hodnotu 18,7 hPa (Scharlau 1943).

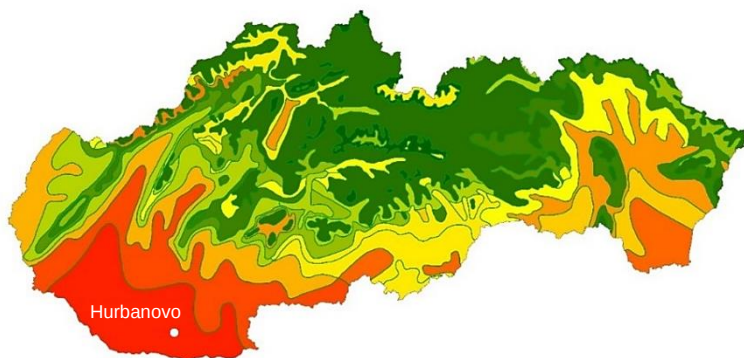
MATERIÁL A METÓDY

Fyzickogeografické charakteristiky meteorologickej stanice Hurbanovo

Profesionálna meteorologická stanica Hurbanovo bola zvolená kvôli tomu, lebo je naša najjužnejšie položená stanica, ktorá patrí z hľadiska klimatickej rajonizácie do teplej oblasti a do klimaticko-geografického typu teplej nížinnej klímy. Táto stanica charakterizuje klimaticky rozsiahlu časť Podunajskej nížiny, našej poľnohospodársky najteplejšej a najproduktívnejšej oblasti (Obr. 1). Ako bolo predtým spomenuté, Hurbanovo je profesionálna stanica, ktorá leží v strednej Európe (47°52'23"N, 18°11'36"E). Nachádza sa na klimaticky najteplejšom mieste Podunajskej nížiny južného Slovenska, na sútoku riek Žitavy a Nitry (Mesto Hurbanovo, 2021). Hurbanovo má dlhodobú pozorovaciu stanicu s viac ako 100-ročnou históriou meteorologických pozorovaní. Údaje z Hurbanova, pre meteorológiu a klimatológiu historicky najdôležitejšej stanice-observatória na

Obrázok 1. Poloha meteorologickej stanice Hurbanovo v rámci Slovenska.

Figure 1. Location of meteorological station Hurbanovo within Slovakia.



území dnešného Slovenska, máme k dispozícii prakticky nepretržite už poldruha storočia (Výberčí a kol., 2021). Najstaršie publikované údaje o počasi pre Hurbanovo v odbornej literatúre sú z roku 1871, ale dennými Hurbanovskými meteorologickými údajmi disponujeme od 1. januára 1872. Meteorologické observatórium Hurbanovo je profesionálnou stanicou s najúplnejším a najlepšie spracovaným pozorovacím materiálom na Slovensku. Je nielen základnou stanicou pre slovenský klimatologický výskum, ale priam jeho vlajkovou loďou. O dôležitosť stanice tiež svedčí, že v septembri 2020 bola zaradená na významný zoznam tzv. „Storočných pozorujúcich staníc Svetovej meteorologickej organizácie (WMO)“.

Ako vidíme na Obr. 1, stanica je charakterizovaná nížinatým reliéfom. Jej nadmorská výška je 115 m (Bochníček et al., 2015). Keďže celé Slovensko leží v miernom pásme, počasie je charakteristické pravidelným striedaním štyroch ročných období. Vzdialenosť od mora spôsobuje, že podnebie u nás má prechodný ráz medzi oceánskym a kontinentálnym podnebím (Balážovičová, 2015). Na západe Slovenska, kde leží aj stanica Hurbanovo, majú väčší vplyv oceánske a na východe kontinentálne vzduchové hmoty, avšak najväčší vplyv na formovanie klímy má nadmorská výška (Bochníček et al., 2015). Vďaka vysokej kvalite pôd sa územie zaraďuje medzi najúrodnejšie a najviac poľnohospodársky využívané na Slovensku. To spôsobuje, že prirodzená vegetácia musela ustúpiť potrebám človeka a okolie intravilánu tvorí hlavne orná pôda. Zo živočíšnych druhov sú tu hojne zastúpené hlavne vtáky, kvôli ktorým na území mesta vzniklo viacero chránených území (Jobbágy, 2013).

Dusné počasie

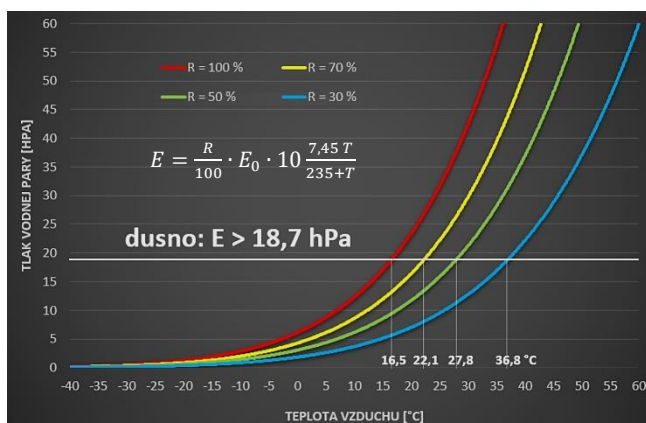
Nepostrádateľným krokom k zisteniu, kde a kedy sa vyskytlo dusné počasie, je výpočet tlaku vodných pár. K tomuto výpočtu sme potrebovali údaje o teplote vzduchu a o relatívnej vlhkosti vzduchu. Tlak vodnej pary, podobne ako teplota vzduchu, so vzrastajúcou nadmorskou výškou klesá (Chromov, 1968). Maximálne hodnoty dosahuje na nížinách v letných mesiacoch, najnižšie vo vysokých horských polohách v zime. Ročný chod tlaku vodnej pary je podobný ako ročný chod teploty vzduchu (Trizna, 2012). Vyznačuje sa jedným

maximum, ktoré sa vyskytuje v júli a jedným minimum v januári. Tlak vodnej pary pri dennom chode má svoje minimum v ranných hodinách, a to pred východom slnka. Počas dňa so stúpajúcou teplotou vzduchu vzrastá výpar, čím sa zvyšuje aj tlak vodnej pary až dosiahne maximum okolo 14:00. Neskôr začne jeho hodnota postupne klesať k ránnému minimu. Tento jednoduchý denný chod tlaku vodnej pary sa uplatňuje najmä vo vysoko-horskej klíme a v zimnom období aj v nižších polohách (Wiederhold, 1997). V teplom polroku sa v nižších polohách prejavuje termická turbulencia, vodná para sa od zemského povrchu dostáva do vyšších vrstiev atmosféry, čím dochádza k modifikácii denného

chodu tlaku vodnej pary. Denný chod má tak dve maximá, hlavné maximum dosahuje doobeda okolo 9:00 h, sekundárne vo večerných hodinách (okolo 20:00 h) a dve minimá, hlavné minimum je totožné ako pri jednoduchom dennom chode, teda pred východom slnka a sekundárne minimum nastáva v čase denného maxima teploty vzduchu okolo 15:00 h (Bochníček O. et al., 2015). Ako už bolo spomenuté, dusno vzniká vtedy, keď tlak vodnej pary prekročí hodnotu 18,7 hPa (všetky plyny v atmosfére spolu tvoria celkový tlak vzduchu (v našej oblasti priemer 1 013,25 hPa) a časť z neho tvorí aj vodná para). Množstvo vodnej pary v určitom objeme vzduchu limituje jeho teplota, pričom čím je vyššia, tým môže daný objem vzduchu obsahovať viac vodnej pary. Túto závislosť vieme popísať prostredníctvom tzv. Clausius-Clapeyronovej rovnice (SHMÚ, 2016). Na Obr. 2 možno vidieť zjednodušené vyjadrenie dusna, lebo existujú viaceré varianty. Na osi x (zvislá os) možno pozorovať tlak vodnej pary. Na y-ovej osi (vodorovná os) je teplota vzduchu. Minimálna hodnota dusna je znázornená bielou čiarou. Na grafe vidíme ďalšie 4 krivky, ktoré popisujú túto závislosť pri rôznej relatívnej vlhkosti vzduchu (100, 70, 50, 30 %). Z toho je zjavné, že pri teplote nižšej ako 16,5 °C nie je možné, aby nastalo dusno, pretože tlak vodnej pary pri

Obrázok 2. Závislosť tlaku vodnej pary od teploty vzduchu pri danej relatívnej vlhkosti vzduchu (M. Šinger, 2016; prevzaté z oficiálnej internetovej stránky SHMÚ).

Figure 2. Dependence of water vapor pressure on air temperature at a given relative humidity (M. Šinger, 2016; taken from the official website of the Slovak Hydrometeorological Institute).



relatívnej vlhkosti 100 % by bol vždy nižší ako 18,7 hPa. Stopercentná relatívna vlhkosť vzduchu počas dňa sa vyskytuje len zriedkavo (napr. po/pri daždi, najmä v lete), preto sú na grafe znázornené závislosti aj pre nižšie hodnoty relatívnej vlhkosti. Pri danej relatívnej vlhkosti vzduchu sú uvedené aj minimálne hodnoty teploty vzduchu, pri ktorej nastáva dusno. Vidíme, že v suchom vzduchu (30 % relatívna vlhkosť) je dusno dosahované pri veľmi vysokých hodnotách teploty, až takmer 37 °C (SHMÚ, 2016).

Jednoznačne má na človeka a niektoré živočíchy škodlivé fyziologické účinky. Nepriaznivo vplyva na ľudí s chorobami kardiovaskulárneho systému a zaťažuje termoregulačné mechanizmy organizmu, čo sa prejavuje na zníženej pracovnej schopnosti zdravých ľudí (Kveták, 1986). Značne súvisí s fyziologickým procesom tepelnej regulácie v ľudskom tele. Odvod tepla si telo samo reguluje výparom, vedením, a v neposlednom rade vyžarovaním. Odvodu tepla z tela môže zabrániť prívod tepla zvonku za veľmi teplého počasia, ktoré obmedzuje výpar a tým i odvod prebytočného tepla. Za takýchto okolností môže vzniknúť neprijemný pocit dusna. Na jeho vzniku sa podieľajú také klimatologické ukazovatele, ako napr. efektívne dlhovlnné vyžarovanie, rýchlosť vetra, ale aj telesná práca a oblečenie. Ako už bolo predtým písané, dusno môže nastať pri vyššej teplote vzduchu (napr. pri teplote vzduchu 30 °C nastáva, ak relatívna vlhkosť vzduchu dosiahne aspoň 45 %), alebo pri vysokej vlhkosti vzduchu (napr. pri relatívnej vlhkosti vzduchu 100 % a teplote vzduchu aspoň 17 °C). Nie je jednoduchou prácou zistiť a posúdiť hranicu dusna, tepelnej pohody a chladu u človeka, lebo tepelný pocit v tých istých meteorologických podmienkach môže byť u rôznych ľudí odlišný, pretože značne závisí od organizmu človeka a od jeho aktuálneho fyziologického stavu. Treba si uvedomiť, že ľudské telo vydáva teplo nielen vedením, prúdením a žiarením, ale aj vyparovaním. V dôsledku tepelnej regulácie reaguje organizmus na vonkajšie poveternostné vplyvy takým spôsobom, že výdaj tepla v teplom prostredí zvyšuje a v chladnom znižuje. Ľudský organizmus sa vie do určitej miery chrániť pred prílišným ochladením a prehriatím vďaka termoregulačným mechanizmom. Do úvahy treba vziať aj oblečenie, telesné zaťaženie, aklimatizáciu atď. Faktom je, že zvýšenú teplotu znáša človek ľahšie, ak je relatívna vlhkosť nižšia. Ale ak je relatívna vlhkosť menšia ako 20 %, vyparovanie z povrchu slizníc dýchacích ciest je také veľké, že sliznice začínajú vysychať. Za zmienku stojí ešte poukázať na straty vody spôsobené vyparovaním a potením organizmu človeka. Dnes je známe, že na pohodu vplyva i čistota vzduchu, ionizácia, elektrické vlastnosti vzdušného prostredia, magnetické pole a obsah rôznych prímies vo vzduchu. Viaceré pozorovania ukázali, že tepelná rovnováha človeka v pokoji sa už ťažko udržuje pri teplote vzduchu 40 °C a relatívnej vlhkosti 30 % alebo pri teplote 30 °C a relatívnej vlhkosti 85 %. Za týmito hranicami sa subjektívny pocit väčšiny ľudí zhoršuje. Odporúča sa venovať zvýšenú pozornosť meraniu a registrácii infračerveného žiarenia,

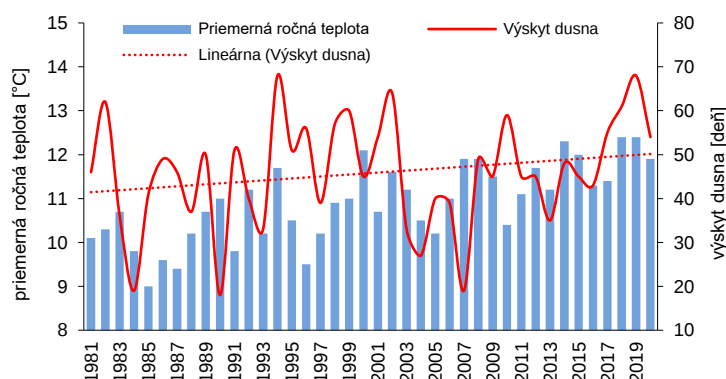
lebo vplyva na tepelný pocit človeka. Silne kolíše pri zmene rôznych atmosférických faktorov (napr. oblačnosti, obsahu vodnej pary, hmly, koncentrácie prachu vo vzduchu). Táto okolnosť má veľký význam hlavne pri výskyte letných situácií dusna. Napríklad, už dlhší čas pred búrku je známe zvýšenie pocitu dusna, ktoré je spojené s pribúdajúcimi oblačnosťou a parou vo vzduchu (Švec, 2014). Dusno sa častejšie vyskytuje vo veľkomestách, kde k tomu prispieva zvýšené znečistenie ovzdušia a zvýšené infračervené žiarenie v dôsledku rozhorúčeného asfaltu a múrov domov (Kolesár, 1989). U nás sa vyskytuje najmä v letnom polroku, hlavne na nížinách. Počet dusných dní so stúpajúcou nadmorskou výškou klesá, v horských oblastiach na 1 000 m n.m. sa vyskytuje iba málokedy. Za najprijemnejšie počasie pre človeka môžeme považovať stav, kedy sa teplota vzduchu pohybuje okolo 17 °C a vlhkosť vzduchu je priemerne vlhká, okolo 50 % (Kveták, 1986).

Súvislosť medzi zmenou klímy a dusným počasím

Hrozba zmeny klímy a jej negatívnych dôsledkov predstavuje v súčasnosti veľmi vážny a bezprostredný problém. Najnápadnejším prejavom klimatickej zmeny je bezpochyby globálne otepľovanie, prejavujúce sa tak na pevninách ako aj v oceánoch. Otepľovanie na pevninách so sebou prináša celý rad pozoruhodných, predovšetkým negatívnych dôsledkov. Zvyšovanie priemernej teploty vzduchu nepriaznivo ovplyvňuje hlavne prírodné ekosystémy, ktoré sa len veľmi ťažko tejto zmene prispôbujú popri čoraz častejších extrémnych prejavoch počasia ako sú: vlny horúčav, dlhšie trvajúce a intenzívnejšie sucha, silnejšie a prudšie búrky, a pod. (SHMÚ, 2019). Vznik dusna závisí najmä od teploty vzduchu (Lapin, 2001). V dôsledku toho predpokladáme, že ak je pozorovaný už dlhší časový rad zvyšovania sa teploty vzduchu na Slovensku, i celého sveta, aj dusné počasie nám ukáže podobný vývoj. Dusno môže vo veľkej miere podporovať vznik búrok, keďže dostatok vlhkosti v spodných hladinách troposféry je jednou zo základných podmienok ich vývoja (SHMÚ, 2016). Ako vidíme na Obr. 3 výskyt dusna má podobný charakter vývoja ako teplota vzduchu, čo samozrejme nie je prekvapujúce, pokiaľ do výpočtu dusna patrí aj prvok teplota vzduchu.

Obrázok 3. Vzťah medzi priemernou teplotou vzduchu a výskytom dusna.

Figure 3. Relationship between average of air temperature and occurrence of sultriness.



Metodika výpočtu tlaku vodnej pary

Z údajov teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu bol vypočítaný tlak vodných pár, lebo je základným údajom pri zistení výskytu dusna. Dusno vzniká následkom obmedzeného vyparovania a je závislé od tlaku vodnej pary vo vzduchu. Meria sa v Pascaloch (Pa) (Kveták 1986). Bolo vypočítané pomocou dole uvedených vzorcov. Pri výpočte tlaku vodných pár sme použili 2 odlišné vzorce, podľa toho, či bolo letné (od marca do augusta) alebo zimné (od septembra do februára) obdobie. Pokiaľ ide o zimné mesiace, vzorec pre rovinný povrch ľadu má exponent v tvare:

$$e = R \left(6,1 \cdot 10^{\frac{9,5t}{265,5+t}} \right),$$

a pre letné obdobie:

$$e = R \left(6,1 \cdot 10^{\frac{7,45t}{235+t}} \right),$$

kde

e = tlak vodnej pary

R = relatívna vlhkosť vzduchu (%),

t = teplota vzduchu (°C),

(Matveev, 1965).

Podľa práce Štefana Kvetáka (Kveták, 1986) bol zistený počet dní s výskytom dusna a kategorizácia na tri typy podľa hodnoty tlaku vodnej pary. K. Scharlau (Scharlau, 1943) podľa dlhoročného pozorovania stanovil začiatok výskytu dusna, ak tlak vodnej pary dosiahne hodnotu $>18,7$ hPa. Interval $18,8 \leq e < 24,0$ hPa označil ako slabé dusno, $24,0 \leq e \leq 30,5$ hPa silné dusno, a keď je $e > 30,5$ hPa vyčerpávajúce dusno (Obr. 4).

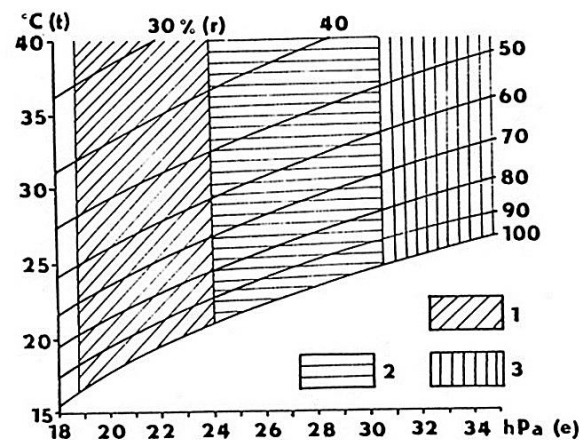
VÝSLEDKY

Časové rozloženie dusna

Pri skúmaní denného chodu výskytu dusna za jeden deň sme zistili, že najčastejšie sa dusné dni vyskytujú ráno o 7:00, 8:00 a večer 19:00, 20:00 hodine. Najzriedkavejšie sa dusno vyskytuje o 3:00 a 4:00 hodine. Najčastejší začiatok dusného počasia je medzi 6:00–10:00 h dopoludnia, vedľajšie maximum začiatkov je medzi 19:00–21:00 h večer a sporadický je výskyt v nočných a skorých ranných hodinách. Dostali sme dvojité denný chod tlaku vodnej pary s dvoma minimami a dvoma maximami (Obr. 5). Príčinou tohto dvojitého denného chodu môže byť, že pôda sa ohrieva od východu slnka, a to okolo 7:00–9:00 h, kedy sa zväčšuje výpar a tlak vodnej pary pri zemskom povrchu vzrastá. Postupne narastá teplota a zosilňuje sa aj konvekcia. V dôsledku rastúcej turbulencie a konvekcie dochádza k zvýšenému prenosu vodnej pary do výšky. V tomto prípade výpar už nedokáže doplniť takzvanú vzniknutú stratu a preto klesá obsah vodných pár k druhému minimu, čo sa prejavuje okolo 15:00–16:00 h. Večerné maximum okolo 19:00–20:00 h súvisí s poklesom intenzity turbulencie. V nočných hodinách znova môžeme vidieť pokles obsahu vodnej pary vo vzduchu, lebo sa začína ochladzovať vzduch od povrchu zeme a nastáva kondenzácia vodnej pary.

Obrázok 4. Nomogram teplotno-vlhkostných vzťahov $t - r - e$ za dusného počasia. Prevzaté z geografického časopisu, ročník 38, číslo 1 (1986) (vlastné vypracovanie).

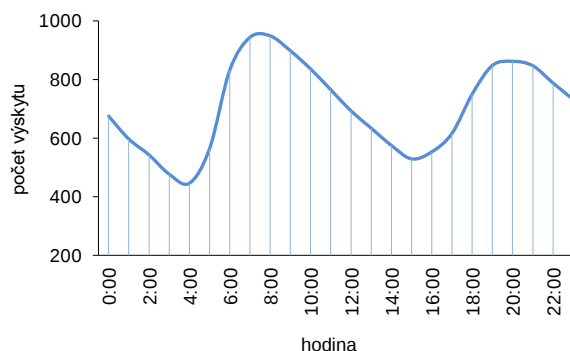
Figure 4. Nomogram of thermal-moisture relations $t - r - e$ for sultry weather. Taken from the Geographical Journal, Yearbook 38, Number 1 (1986) (own development).



Obr. 2. Nomogram teplotno-vlhkostných vzťahov $t - r - e$ za dusného počasia.
1 – slabé dusno ($18,8 \leq e < 24,0$ hPa)
2 – silné dusno ($24,0 \leq e \leq 30,5$ hPa)
3 – vyčerpávajúce dusno ($e > 30,5$ hPa).

Obrázok 5. Denný chod dusna v období rokov 1981–2020 na meteorologickej stanici Hurbanovo.

Figure 5. Daily course of sultriness in the period 1981–2020 at meteorological station Hurbanovo.



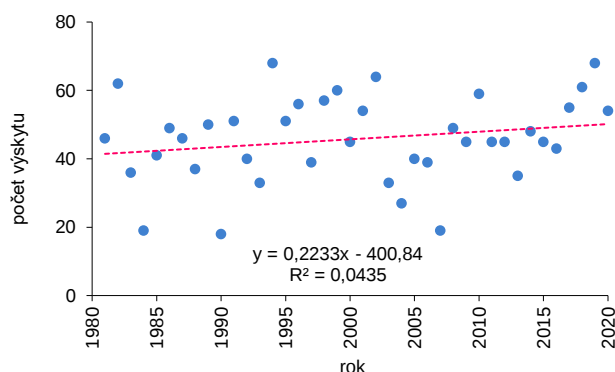
Výskyt dusna v jednotlivých kategóriách

Najväčší celkový počet hodín dusného počasia v Hurbanove za 40-ročné obdobie bol v rokoch 2019 (987 h) a 2002 (722 h). Najnižší počet bol zaznamenaný v roku 1990 (75 h) a druhý najmenej početnejší bol rok 1984 (109 h). Priemerný počet hodín s dusným počasím je za rok približne 424 h. Možno konštatovať, že počet hodín s dusnom sa zvyšuje od roku 1981 do 2020. Toto zvyšovanie bolo znázornené pomocou lineárnej trendovej spojnice (Obr. 6). Z hodnoty koeficientu determinácie uvedenej aj na grafe (R^2) vyplýva, že lineárna závislosť je nepatrná, bezvýznamná, lebo tesnosť závislosti ($R^2 = 0,0435$) je blízka nule, t. j. ide o nezávislosť (Nováková, 2013). Druhý spôsob, ako sme skúmali zmenu počtu dusných dní, bolo porovnanie údajov s predchádzajúcim obdobím, podrobne opísané nižšie. Ako už bolo predtým spomínané, výskyt dusna podľa intenzity môže byť kategorizovaný na 3 typy

– slabé, silné, vyčerpávajúce dusno (Scharlau, 1943). V našom prípade sme zadefinovali dve skupiny podobne, ako to urobil Š. Kveták v jeho práci (Kveták, 1986). Prvá skupina zahŕňala výskyt dusna v dňoch, teda všetkých dní, v ktorých aspoň raz tlak vodnej pary prekročil hodnotu 18,7 Pa (Obr. 6) a druhá skupina reprezentovala výskyt silného a vyčerpávajúceho dusna v dňoch, teda prípady, keď tlak vodnej pary prekročil hodnotu 24,0 hPa (Obr. 7).

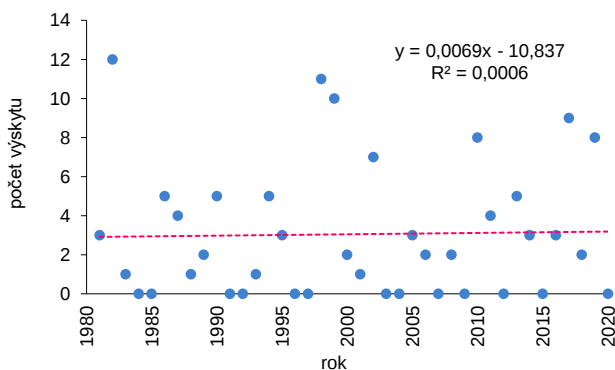
Obrázok 6. Výskyt dusných dní v období rokov 1981 – 2020 pre stanicu Hurbanovo.

Figure 6. Occurrence of sultry days in the period 1981 – 2020 for the station Hurbanovo.



Obrázok 7. Výskyt silných a vyčerpávajúcich dusných dní v období rokov 1981 – 2020 pre stanicu Hurbanovo.

Figure 7. Occurrence of strong and exhausting sultry days for the period from 1981 to 2020 for the station Hurbanovo.



Tabuľka 1. Porovnanie výskytu sna (1981 – 2020) s predchádzajúcim obdobím (1951 – 1980) v Hurbanove.

Table 1. Comparison of the occurrence of sultriness 1981 – 2020 with the previous period (1951 – 1980) in Hurbanovo.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
s dusným počasím (e ≥ 18,8 hPa)													
1951 – 1980	-	-	-	-	1,4	10,6	14,3	12,2	4,8	0,6	-	-	43,9
1981 – 2010	-	-	-	-	2,1	9,7	14,9	13,9	3,5	0,3	-	-	44,4
1981 – 2020	-	-	-	-	1,8	10,5	15,3	14,5	3,5	0,3	-	-	45,8
rozdiel 30 rokov	-	-	-	-	0,7	-0,9	0,6	1,7	-1,3	-0,3	-	-	0,5
rozdiel 40 rokov	-	-	-	-	0,4	-0,1	0,9	2,3	-1,3	-0,4	-	-	1,9
so silným a vyčerpávajúcim dusnom (e ≥ 24,0 hPa)													
1951 – 1980	-	-	-	-	-	1,1	1,5	1,5	0,1	-	-	-	4,2
1981 – 2010	-	-	-	-	-	0,6	1,2	1,0	0,0	-	-	-	2,9
1981 – 2020	-	-	-	-	-	0,7	1,2	1,1	0,0	-	-	-	3,1
rozdiel 30 rokov	-	-	-	-	-	-0,5	-0,3	-0,5	-0,1	-	-	-	-1,3
rozdiel 40 rokov	-	-	-	-	-	-0,4	-0,3	-0,4	-0,1	-	-	-	-1,2

Porovnanie výskytu dusna (1981 – 2020) s predchádzajúcim obdobím (1951 – 1980)

Ak porovnávame obdobie 1951 – 1980 s obdobím 1981 – 2020 vidíme, že počet dní s dusným počasím sa v Hurbanove zvyšuje o 1,9. Kvetákova práca (Kveták, 1986) uvádza 43,9 dní s výskytom dusna za rok, a posledné 40-ročné obdobie nám ukazuje 45,8 dní za rok. So silným a vyčerpávajúcim dusnom je situácia opačná. Znižuje sa o –1,2 dní. Predtým to bolo 4,2 dní za rok, čo je teraz 3,1 dní za rok pre 40-ročné obdobie (Tab. 1).

Výskyt rekordov

Extrémne hodnoty dusna v rámci skúmaného obdobia sa vyskytovali hlavne v rokoch 1987, 1998 a 2010, 2017, a najčastejšie v mesiacoch júl a august o 18:00 hodine. Najväčšiu hodnotu výskytu dusna zaznamenala stanica vtedy, keď tlak vodnej pary prekročil hodnotu 29,65 hPa, čomu zodpovedala teplota vzduchu 27,2 °C a 82 % relatívna vlhkosť. Táto rekordná hodnota tlaku vodnej pary sa vyskytla 2.7.1987. Ďalšiu extrémnu hodnotu (28,3 hPa) zaznamenala stanica pri 85 % relatívnej vlhkosti a teplote vzduchu 25,8 °C (Tab. 2).

Tabuľka 2. Maximálne hodnoty dusna v období rokov 1981 – 2020 na meteorologickej stanici Hurbanovo.

Table 2. Maximum values of sultriness for the period 1981 – 2020 at the meteorological station Hurbanovo.

dátum	čas	teplota vzduchu [°C]	vlhkosť vzduchu [%]	tlak vodnej pary [hPa]
8-8-1981	18:00	23,6	0,94	27,44
19-7-1982	09:00	22,8	0,95	26,42
27-6-1983	17:00	23,0	0,93	26,18
12-7-1984	00:00	24,5	0,71	21,88
17-7-1985	08:00	22,8	0,84	23,36
18-6-1986	08:00	25,5	0,79	25,84
2-7-1987	10:00	27,2	0,82	29,65
2-9-1988	18:00	25,3	0,77	24,88
20-8-1989	19:00	23,6	0,84	24,52
30-6-1990	10:00	28,8	0,58	23,02
13-7-1991	19:00	24,2	0,90	27,24
2-8-1992	20:00	22,2	0,86	23,06
18-7-1993	12:00	22,4	0,91	24,70
29-6-1994	21:00	25,3	0,83	26,82
14-7-1995	20:00	21,6	0,97	25,07
15-7-1996	20:00	23,9	0,80	23,78
7-9-1997	12:00	20,1	1,00	23,57
3-8-1998	21:00	25,8	0,85	28,30
9-8-1999	21:00	25,1	0,85	27,14
14-8-2000	18:00	23,5	0,87	25,24
15-7-2001	08:00	30,2	0,61	26,24
16-7-2002	11:00	26,9	0,76	27,00
13-6-2003	18:00	27,2	0,60	21,69
25-7-2004	11:00	22,2	0,82	21,99
28-7-2005	06:00	24,8	0,78	24,47
26-6-2006	19:00	28,6	0,63	24,72
20-7-2007	17:00	33,2	0,42	21,42
15-8-2008	15:00	31,1	0,58	26,27
22-8-2009	17:00	23,7	0,81	23,79
15-8-2010	13:00	27,9	0,73	27,50
14-7-2011	23:00	23,5	0,90	26,11
25-7-2012	14:00	23,4	0,81	23,36
19-6-2013	19:00	29,9	0,63	26,64
18-7-2014	15:00	23,6	0,87	25,39
17-8-2015	13:00	24,4	0,76	23,28
25-7-2016	08:00	26,0	0,75	25,27
5-8-2017	03:00	23,8	0,93	27,47
3-8-2018	07:00	23,2	0,88	25,07
27-6-2019	11:00	32,6	0,55	27,12
15-8-2020	11:00	23,2	0,83	23,65

Maximálne trvanie

Najdlhšie nepretržité trvanie dusna dosiahlo 155 h v dňoch 22.8.2019 17:00–29.8.2019 3:00 (Tab. 3). Vtedy sa držalo dusné počasie v Hurbanove skoro 6,5 dní. Ďalšie maximum predstavuje 127 h v dňoch 9.7.1999 9:00–14.7.1999 16:00, 5.8.1999 19:00–10.8.1999 22:00; ďalej v roku 2013 (114 h v dňoch 18.6.2013 18:00–23.6.2013 12:00). Významné sú aj roky s nepretržitým trvaním dusna, a to: 2002 (95 h v dňoch 30.7.2002 15:00–3.8.2002 14:00) a 2016 (89 h v dňoch 25.7.2016 20:00–29.7.2016 13:00). Za 40 rokov v Hurbanove bolo zaznamenaných viac ako 50 prípadov dusného počasia s dlhším trvaním ako 24 h.

Tabuľka 3. 10 najdlhších období s nepretržitým trvaním dusného počasia za obdobie 1981–2020 pre Hurbanovo.

Table 3. 10 longest periods with continuous duration of sultry weather for the period 1981–2020 for Hurbanovo.

	rok	počet hodín	počet dní	odkedy	dokedy
1.	2019	155	6,4	22-08-19 17:00	29-08-19 03:00
2.	1999	127	5,3	09-07-99 09:00	14-07-99 16:00
3.	2013	114	4,8	18-06-13 18:00	23-06-13 12:00
4.	2014	101	4,2	27-07-14 06:00	31-07-14 11:00
5.	2002	95	4,0	30-07-02 15:00	03-08-02 14:00
6.	2016	89	3,7	25-07-16 20:00	29-07-16 13:00
7.	1994	83	3,5	27-06-94 18:00	01-07-94 05:00
8.	2010	80	3,3	13-08-10 06:00	16-08-10 14:00
9.	2006	73	3,0	20-06-06 17:00	23-06-06 18:00
10.	2008	72	3,0	31-07-08 15:00	03-08-08 15:00

Tabuľka 4. 10 najdlhších období s nepretržitým trvaním silného dusného počasia za obdobie 1981–2020 pre Hurbanovo.

Table 4. 10 longest periods with continuous duration of strong sultry weather for the period 1981–2020 for Hurbanovo.

	rok	počet hodín	počet dní	odkedy	dokedy
1.	2010	16	0,6	15-07-10 19:00	16-07-10 10:00
2.	2010	14	0,5	14-08-10 21:00	15-08-10 10:00
3.	1987	12	0,5	02-07-87 08:00	02-07-87 19:00
4.	1999	12	0,5	09-08-99 15:00	10-08-99 02:00
5.	1998	11	0,4	03-08-98 17:00	04-08-98 03:00
6.	1994	9	0,3	29-06-94 18:00	30-06-94 02:00
7.	1999	9	0,3	07-08-99 09:00	07-08-99 17:00

Najdlhšie nepretržité trvanie silného dusna dosiahlo 16 h v dňoch 15. 7. 2010 19:00–16. 7. 2010 10:00 (Tab. 4). Ďalšie maximum v tejto kategórii trvalo 14 h v dňoch 14.8.2010 21:00–15.8.2010 10:00 v tom istom roku; ďalej v roku 1987 (12 h v dňoch 2.7.1987 8:00–2.7.1987 19:00) a v roku 1999 (12 h v dňoch 9.8.1999 15:00–10.8.1999 2:00). Významné sú aj roky s nepretržitým trvaním silného dusna,

a to: 1998 (11 h v dňoch 3.8.1998 17:00–4.8.1998 3:00), 1994 (9 h v dňoch 29.6.1994 18:00–30.6.1994 2:00) a 1999 (9 h v dňoch 7.8.1999 9:00–7.8.1999 17:00).

Najpríjemnejšie podmienky pre človeka a živočíchov

Pobyt človeka v prírode ovplyvňujú takmer všetky meteorologické prvky. Vlhkosť vzduchu v spojení s teplotou vykazuje značný vplyv na organizmus. Najpríjemnejšie podmienky pre človeka sú tie, pri ktorých relatívna vlhkosť vzduchu je 50 % a teplota vzduchu 16–18 °C (a kde ďalšie hodnoty sú $9,1 \leq e \leq 10,3$ hPa). Chlad i horúca v suchom podnebí sa znáša ľahšie ako vo vlhkom. Prihliadnuc na presnosť merania relatívnej vlhkosti vzduchu a jej premenlivosť sme rozšírili hodnotu na interval $48 \leq r \leq 52$ %. Vybrané kritérium určujúce veľmi príjemné podmienky pre človeka ($48 \leq r \leq 52$ %, $16 \leq t \leq 18$ °C) sa vyskytuje v Hurbanove okrem januára vo všetkých mesiacoch. Tieto výsledky sme dostali po spracovaní údajov za 40 rokov (1981–2020). Najčastejšie sa veľmi príjemné podmienky vyskytujú na jar (apríl a máj) a na jeseň (september a október) za 40 ročné obdobie. Vtedy nastáva takmer synchrónny výskyt maxim početnosti teploty (16–18 °C) a relatívnej vlhkosti vzduchu (48–52 %) v dennom chode, napr. v apríli je to okolo poludnia. V zime sa veľmi príjemné podmienky prakticky nevyskytujú, pretože prevláda vysoká relatívna vlhkosť vzduchu a nízke teploty vzduchu. V lete sa teploty 16–18 °C vyskytujú najčastejšie v nočných hodinách a relatívna vlhkosť vzduchu 48–52 % okolo poludnia. Tento časový nesúlad v dennom chode týchto intervalov meteorologických prvkov spôsobuje sporadický výskyt veľmi príjemných podmienok pre človeka v lete, ktoré sa väčšinou objavujú iba za určitých meteorologických situácií. Zhodnotením kritérium veľmi priaznivých podmienok je vymedzené pomerne úzkym intervalom teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu, čím sa dosahujú pomerne malé početnosti výskytu tohto javu v porovnaní s inými podobnými kritériami.

Od roku 1981 sa veľmi príjemné podmienky zvýšili o 2,4 dni za 40 rokov, čo je uvedené v Tab. 5. Za 30 rokov sa to zvýšilo o 3,1 dni. Priemerný počet dní za rok pre obdobie 1951–1980 bolo 19,2. Pre obdobie rokov 1981–2020 sa zvýšilo na 21,6 dní. Z tabuľky vyplýva, že v auguste a v októbri sa tieto čísla znižujú, teda posledné skúmané obdobie vykazuje menej príjemné podmienky ako v predchádzajúcom období. Najviac sa takýchto príjemných dní ukazuje v mesiaci apríl.

Tabuľka 5.

Priemerný počet dní v Hurbanove s veľmi príjemnými podmienkami.

Table 5.

Average number of days in Hurbanovo with very pleasant conditions.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
	s veľmi príjemnými podmienkami ($48 \leq r \leq 52$ %, $16 \leq t \leq 18$ °C)												
1951–1980*	-	0,1	1,2	4	4,3	1,8	0,6	1,0	3,5	2,5	0,2	-	19,2
1981–2010	-	0,2	1,3	5,3	4,4	2,4	1,0	1,0	3,6	2,7	0,3	-	22,3
1981–2020	-	0,2	1,3	5,5	4,3	2,1	1,0	0,9	3,5	2,4	0,5	-	21,6
rozdiel 30 rokov	-	0,1	0,1	1,3	0,1	0,6	0,4	0,0	0,1	0,2	0,1	-	3,1
rozdiel 40 rokov	-	0,1	0,1	1,5	0,0	0,3	0,4	-0,2	0,0	-0,1	0,3	-	2,4

* spracovanie podľa Kvetáka

DISKUSIA

Počasie sa na celej Zemi neustále mení a my sa tomu musíme prispôbiť. Niekedy nám to život uľahčuje, ale niekedy práve naopak. Tak je to aj s dusným počasím. V posledných rokoch nášho storočia sa teplota nepretržite zvyšuje, a keďže výskyt dusna súvisí s teplotou vzduchu, tak sa zvyšuje aj počet dusných dní. Dusnému počasiu sa odborníci nevenujú dlho, hoci tento stav atmosféry bol prítomný aj v minulosti. V súčasnosti, počas letnej sezóny, sa používa klimatizácia, čo bolo ešte pred dvadsiatimi rokmi zriedkavé a v dnešnom svete sa s ňou stretávame v takmer každom obchodnom stredisku. Vychádza otázka, či je klimatizácia zdravá na ľudský organizmus? A aká je situácia s dusnom? Už viackrát bolo spomenuté, že ide o neprijemný pocit, kedy sa necítíme dobre. Vzniká otázka, ako sa môžeme proti tomu brániť. Podľa nášho názoru by sa mohli v mestách vo väčšej miere realizovať adaptačné opatrenia, napr. v podobe väčšieho počtu klenutých spŕch na uliciach, ktoré zároveň fúkajú vodu i vzduch a pod ktorými môžu ľudia prejsť a osviežia sa. Mohlo by sa to rozšíriť hlavne na asfaltových plochách. Pred dusnom bohužiaľ, nevieme utiecť. A nemusí byť hneď štyridsať stupňov Celzia, stačí aj dvadsaťpäť. Pri vysokej vzdušnej vlhkosti sa pot nemá kam odparovať a organizmus sa nevie ochladzovať. Môžete ísť do vody, ale vyjdete von a opäť je to ten istý sparný vzduch. Preťažené telo necíti úľavu. Keď je dusno, nad pokožkou sa drží tenká, pol centimetrová vrstva vzduchu nasýtená vodnými parami a nedokáže prijať ďalšie. Čakáte na pohyb vánku ako na hotový zázrak. Aj najmenší vetrík je osviežujúci dar, lebo odfúkne vzduch presýtený parami a dovoľí telu vypustiť ďalší pot (Čabajová, 2011). V porovnaní s vedeckou prácou Kvetáka (1986) bol zaznamenaný skôr pokračujúci vývoj ako podobnosti. Možno vidieť, že jednotlivé hodnoty sa posúvajú do neskorších období. Zreteľne to môžeme vidieť vo výskyte dusna, ktoré sa posúva k mesiacu august, kým predtým to bol jednoznačne mesiac júl. V posledných desaťročiach sa oveľa viac dotýka aj skorších jesenných mesiacov, ako napr. september, zriedka október. V dennom priebehu nám však vyšli podobné výsledky. K hranici dusna sme sa dostali podľa kritéria Scharlau a musíme poznačiť, že jeho klasifikácia platí iba pre podnebie, v ktorom sa Slovensko nachádza. V našich zemepisných šírkach relatívna vlhkosť vzduchu významne závisí od smeru prúdenia, od vegetačného krytu a od režimu zrážok, zveterných efektov, prítomnosti mestských aglomerácií, či vodných plôch. Potenciálny výpar (maximálne možný pri daných meteorologických podmienkach) závisí od relatívnej vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu. Stále dusno je v ekvatoriálnej oblasti, kde miestami tlak vodnej pary prekračuje uvedený limit, niekedy aj vyše 40 hPa (u nás je to vyčerpávajúce dusno podľa Scharlau's kritéria). Periodické dusno je v subtropoch v lete, najmä v oblastiach monzúnových dažďov. Epizodické dusno sa môže s výnimkou polárnych a vysokohorských polôh vyskytnúť vo všetkých iných oblastiach sveta, na Slovensku asi 30 % dní v lete (nižiny) a v 10 % vo výške 700 m n. m. (Lapin, 2001).

V predchádzajúcej časti sme vysvetlili priestorové rozloženie vlhkosťných charakteristík v jednotlivých častiach sveta. Môžeme k tomu dodať, že hlavne kvôli zmene teploty vzduchu v uplynulých dvoch desaťročiach sa zvy-

šoval výskyt dusna nielen na našom území, ale aj v okolitých krajinách, ako sú Poľsko, Maďarsko a Česko (Zamowiecki, 2003). Pri charakterizovaní dusného počasia v rámci bioklimatológie jednou vetou by sa dalo povedať, že: „Pot je, vyparovanie nie je“. Z hľadiska dýchacích ciest je ideálna vlhkosť vzduchu medzi 40–60 %. Ak je menej ako 40 %, vysušujú sa sliznice, ak je nad 60 %, hrozí prehriatie tela. Kvôli vysokej vlhkosti sa nemôžeme normálne potiť, pričom jednou z hlavných funkcií potu je ochladzovať organizmus. Keď sa okolitá teplota blíži teplote ľudského tela (zhruba 36 °C), naše telo sa začne ochladzovať. Začneme sa potiť, mení sa krvný obeh, dýchanie sa zrýchľuje. Funkcia ochladzovania potením však funguje len vtedy, ak sa z pokožky vyparí pot. Ak je vlhkosť vzduchu vysoká, nebude schopná absorbovať množstvo kvapaliny na povrchu pokožky, takže pot sa nebude odparovať a naše telo nebude schopné vychladnúť. Okrem toho, nedostatok chladiaceho účinku vedie k zvýšenému poteniu a následnej významnej strate tekutín a minerálnych solí. Vysoká vlhkosť nielen zhoršuje náš komfort, ale môže tiež vyvolať vážne zdravotné problémy. Nadmerné potenie môže spôsobiť, že telesná rovnováha tela sa prevráti a nepretržitá strata tekutín vedie k zahusťovaniu krvi a znižovaniu krvného tlaku. Zahusťovanie krvi je nebezpečné, pretože prispieva k tvorbe krvných zrazenín a krvné zrazeniny môžu spôsobiť infarkty, mŕtvice, embóliu, blokovanie krvných ciev (Stvorecz, 2014). V prípade zvýšeného potenia strácame nielen tekuté, ale aj vitálne soli (draslík, sodík a horčík). Ich nedostatok môže spôsobiť arytmie. Počas prehrievania tela prúdi do svalov, mozgu a ďalších orgánov menej krvi, čo vedie k zhoršeniu fyzickej zdatnosti a fyzickej a psychickej únavy. Závažnosť symptómov je ovplyvnená vekom a fyzickou silou dotknutej osoby. Aj keď sú starší ľudia najzraniteľnejší, nezodpovednosť mladšej vekovej skupiny môže často prispievať k vážnejšiemu stavu (napríklad vykonávaním ťažkej fyzickej práce v teplom prostredí s vysokou vlhkosťou). Dusno môže nepriaznivo pôsobiť na osoby citlivé na teplo a s kardiovaskulárnymi problémami, preto by sa mali títo ľudia vyhýbať zvýšenej telesnej a duševnej námahe, zaťažujúcim požívatinám a priamemu slnečnému žiareniu (Čabajová, 2007).

Rast priemernej ročnej teploty vzduchu v Hurbanove sa prejavil najvýraznejšie za posledných tridsať rokov. Priemerná ročná teplota vzduchu za obdobie 1981–2010 dosiahla v Hurbanove 10,6 °C, čo je v porovnaní s obdobím 1951–1980 nárast o 0,7 °C (Lieskovská, 2017). V roku 2019 a tiež aj v roku 2018 bola v Hurbanove priemerná ročná teplota 12,42 °C. Táto hodnota je pre Hurbanovo rekordne vysoká za celú históriu meraní (Lieskovská, 2020).

ZÁVER

V ročnom chode tlak vodnej pary v Hurbanove (1981–2020) dosahuje najvyššie hodnoty v júli (predchádzajúce 40-ročné obdobie (1951–1980) tiež, (ďalej len predchádzajúce obdobie)) a zhoduje sa s ročným chodom teploty vzduchu, čo môžeme vidieť v Tab. 5. V dennom chode tlaku vodnej pary v Hurbanove (1981–2020) sa objavuje maximum okolo 7:00 a 8:00 h (predchádzajúce obdobie 9:00 h) a vedľajšie maximum okolo 19:00 a 20:00 h (predchádzajúce obdobie

21 h), minimum o 3:00 a 4:00 h (predchádzajúce obdobie 4:00–5:00 h) a vedľajšie minimum o 15:00 a 16:00 h (predchádzajúce obdobie 17:00 h). V období 1981–2020 bolo v Hurbanove 16 952 h (predchádzajúce obdobie 11 607 h) s dusným počasím ($e \geq 18,8$ hPa). V dennom chode sme zaznamenali dusné počasie o 8:00 h (949 krát) (predchádzajúce obdobie 10:00 h (746-krát)) a najzriedkavejšie o 4:00 (446-krát) (predchádzajúce obdobie o 5:00 (155 krát)).

Obr. 5 nás informuje o dvojitom dennom priebehu početností hodín (Σ h) s dusným počasím a poukazuje na analogický trend s denným chodom tlaku vodnej pary. Dusné počasie ($e \geq 18,8$ hPa) sme zaznamenali v mesiacoch apríl–október (predchádzajúce obdobie máj–október) a môže sa vyskytnúť počas celého dňa (24 h). Dusné počasie sa najčastejšie vyskytuje v lete s vrcholom početností v júli, keď pravdepodobnosť výskytu hodín s dusným počasím dosiahne 35,7 % (predchádzajúce obdobie 19,0 %). Najčastejší začiatok dusného počasia je medzi 7:00 a 9:00 h, vedľajšie maximum začiatkov je medzi 19:00 a 21:00 h a sporadický je výskyt v nočných hodinách. Najčastejšie sa vyskytuje jedn hodinové trvanie dusného počasia. Naproti tomu najdlhšie nepretržité trvanie dosiahlo 155 h v dňoch 22. 8. 2019 17:00 – 29. 8. 2019 3:00 (Tab. 3). Dusné počasie trvajúce dlhšie ako 1 sa deň vyskytuje približne raz až 2-krát za rok. Nepretržité trvanie silne dusného počasia sa prejavilo v roku 2010. Vtedy sa tlak vodnej pary v Hurbanove držal nepretržite nad 24,0 hPa viac ako pol dňa (16 h) (Tab. 4). Vyčerpávajúce dusné počasie ($e > 0,5$ hPa) v Hurbanove sa nevyskytlo, tlak vodnej pary sa iba priblížil k hodnote 30,50 hPa (29,65 hPa) v júli 1987. V predchádzajúcom období (1981–2020) táto najviac zaťažujúca kategória dusna trvala len niekoľko hodín v čase výskytu absolútneho maxima tlaku vodnej pary (34,5 hPa).

Obr. 7 nás v prevažnej miere informuje o vývoji silne dusného počasia $24,0 \leq e \leq 30,5$ hPa) v Hurbanove. Silné dusné počasie sme zaznamenali v mesiacoch jún až september, s vrcholom početností v júli (predchádzajúce obdobie v auguste). Začiatok silne dusného počasia sa najčastejšie objavuje medzi 8:00 – 9:00 h (predchádzajúce obdobie 10:00 – 12:00 h) a minimum výskytu v noci o 5:00 ráno. Za 40 rokov v Hurbanove sa vyskytli iba 2 prípady silného dusna s dlhším trvaním ako 12 h (v predchádzajúcom období tiež). Najdlhšie trvanie silne dusného počasia bolo 16 h v dňoch 15.–16. 7. 2010 (v predchádzajúcom období bolo 19 h v dňoch 19.–20. 8. 1974). Z celkového počtu dusných dní na území Slovenska sa najviac vyskytuje slabé dusno, potom silné dusno. Vyčerpávajúce dusno sa nevyskytlo, teda tlak vodnej pary 30,5 hektopaskovú čiaru neprekročil, iba sa k nej blížil. Najčastejšie sa dusno vyskytlo v mesiacoch júl a august. Opačne, najmenšie počty hodín s dusným počasím boli zistené v zimných mesiacoch: december, január a február + marec a november. V rámci ročných období sa dusno najčastejšie vyskytlo v lete (87,7 %) v mesiaci júl (33,3 %), k čomu sa tesne blíži mesiac august (31,6 %) iba s rozdielom 1,69 %. V jesennom období sa dusno vyskytlo oveľa častejšie ako na jar. Jeseň je v poslednom období oveľa teplejšia ako jar (Pecho et al., 2018). V rámci roka teplejšie obdobie začína až v máji, a končí až koncom októbra.

Na jeseň sa dusné počasie vyskytuje v 8,19 % a na jar 4,04 %. Môžeme si to vysvetliť aj prítomnosťou tzv. singularít. Sú to odchýlky od hladkej (zidealizovanej) krivky dlhodobého ročného chodu meteorologického prvk, predovšetkým teploty vzduchu a atmosférických zrážok. V strednej Európe k významnejším singularitám patrí medardovské počasie, potom babie leto, vianočné oteplenie a ľadový muži. Všetky uvedené vplyvajú aj na dusné počasie. Napríklad babie leto má za následok, že v jeseni sa vyskytuje viac dusných dní ako na jar. Príčinou častého výskytu babieho leta je rozsiahla a z časového hľadiska stabilná tlaková výš nad strednou a južnou Európou v tomto období. Pri málo oblačnom počasí býva pomerne veľká amplitúda teploty, 15 až 18 °C, čo znamená, že noci bývajú už chladné, ráno sa môže vyskytovať aj prízemný mráz alebo sa vytvárajú hmly, no popoludnie je pokojné, slnečné a príjemne teplé. V prvej polovici septembra je slnečné žiarenie ešte také silné, že v tlakovej výši pri malej oblačnosti stúpa teplota až do 30 stupňov. To je takzvané neskoré leto. Typické babie leto nastáva až v druhej polovici septembra a v prvej polovici októbra (Odbor Klimatologická služba, 2018). Tepelné žiarenie sa považuje za jednu z hlavných príčin výskytu dusna v máji najmä preto, lebo v tom čase je vzostup žiarenia už veľmi veľký a organizmus sa na tieto podmienky ešte nestačil adaptovať.

Najpríjemnejšie podmienky pre človeka sú tie, pri ktorých relatívna vlhkosť vzduchu je 50 % a teplota vzduchu 16–18 °C (a kde ďalšie hodnoty sú $9,1 \geq e \geq 10,3$ hPa) (Kveták, 1986). Najčastejšie sa veľmi príjemné podmienky vyskytujú na jar (apríl a máj) a na jeseň (september a október) za 40-ročné obdobie. V zime sa veľmi príjemné podmienky prakticky nevyskytujú (17 h za 40 rokov), pretože prevláda vysoká relatívna vlhkosť vzduchu a nízke teploty vzduchu. V lete sa teploty 16–18 °C vyskytujú najčastejšie v nočných hodinách a relatívna vlhkosť vzduchu 48–52 % okolo poludnia. Extrémne hodnoty sa vyskytovali hlavne v rokoch 1987, 1998, 2010 a 2017 a najčastejšie v mesiacoch júl a august o 18:00 hodine. Maximálne hodnoty sa najpravdepodobnejšie vyskytujú o 8:00–11:00 h a 18:00–19:00 h. A naopak, najzriedkavejšie medzi 1:00 h a 2:00 h na svitaní. Možno konštatovať, že výskyt dusna súvisí aj s prebiehajúcou klimatickou zmenou, lebo má podobný vývoj ako teplota vzduchu. Keď bol skúmaný vývoj výskytu dusných dní od roku 1981 do 2020 na stanici Hurbanovo, bolo zistené, že výskyt dusných dní sa mierne zvyšuje. Pri silnom a vyčerpávajúcom dusne bol zaznamenaný štatisticky nevýznamný rast. Dávnejšie sa totiž väčšie extrémny vyskytovali zriedkavejšie, čo v dnešnej dobe začína byť prirodzenou súčasťou počasia, hlavne letného počasia. Podobný nárast počtu slabo a silne dusných dní zaznamenal vo svojej práci aj Kveták (1986) pri spracovaní výsledkov z predchádzajúceho obdobia (1951–1980). Hypotéza bola potvrdená. Postupné zvyšovanie sa teploty vzduchu ovplyvňuje častejší výskyt dusného počasia na našom území. Bude potrebný ďalší výskum týchto dní z hľadiska bioklimatológie (napr. použitím ďalších klimatologických prvkov, ako napr. sily vetra pri spracovaní). Výskum zameriame aj na iné bioklimatologické indexy, aby sme dostali jasnejší obraz z hľadiska tepelného komfortu organizmu.

LITERATÚRA

- Balázovičová, L., 2015, *Základy meteorológie a klimatológie pre geografov*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici Belianum, 149 s. (47–48). ISBN 978-80-557-0954-3.
- Bochníček, O., et al., 2015, *Klimatický atlas Slovenska: Climate atlas of Slovakia*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-88907-91-6.
- Čabajová, Z., 2007, *Bude teplo a dusno* [online]. Bratislava: Petit Press, a. s., [cit. 2019-04-01]. Dostupné na: <https://primar.sme.sk/c/3336836/bude-teplo-a-dusno.html#ixzz5kWfpeWxs/>
- Čabajová, Z., 2011, *Počasia ovplyvňuje aj choroby: Čo robí, keď je teplo a zima* [online]. Bratislava: News and Media Holding a. s. [cit. 2019-04-28]. Dostupné na: <https://www.pluska.sk/izdravie/archiv/top-tema/pocasia-ovplyvnuje-aj-choroby-co-robti-keď-je-teplo-zima.html/>.
- Chromov, S.P., 1968, *Meteorológia a klimatológia*. Bratislava: Slovenská akadémia vied, 453 s. (129–132). ISBN: 71-056-68.
- Jobbágy, J., 2013, *Integrovaná stratégia miestneho rozvoja „mikroregión Hurbanovo“*. Dostupné na: https://www.nesvady.sk/e_download.php?file=data/editor/79sk_1.pdf&original=ISMR_VSP_Hurbanovo.pdf.
- Kolesár, J., 1989, *Humánna bioklimatológia a klimatoterapia*. Martin: Osveta, 1989, 344 s. (46–56). ISBN 80-217-0006-8.
- Kveták, Š., 1986, *Výsušné a dusné počasie v Hurbanove*. *Geografický časopis*. Roč. 38, č. 1, 24–42.
- Lapin, M.–Tomlain, J., 2001, *Všeobecná a regionálna klimatológia*. Bratislava: Univerzita Komenského, 2001. ISBN 80-223-1433-1.
- Lieskovská, Z.–Mičuda, J. a kol., 2020, *Správa o strave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2019*. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. ISBN 978-80-8213-028-0. Dostupné na: <https://www.enviroportal.sk/uploads/report/10661.pdf>.
- Lieskovská, Z.–Mičuda, J. a kol., 2017, *Správa o strave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2016*. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. ISBN 978-80-8213-028-0. Dostupné na: <https://www.enviroportal.sk/uploads/report/7043.pdf>.
- Matveev, A.T., 1965, *Osnovy obščej meteorologii. Fizika atmosfery*. Leningrad, 481 s.
- Mesto Hurbanovo. *Oficiálna webstránka mesta Hurbanovo*. Dostupné na: <https://www.hurbanovo.sk/mesto-hurbanovo/>.
- Nováková, G., 2013, *Štatistika pre geografov 1. 2. vyd.* Bratislava: Geografika, 227 s. ISBN 978-80-89317-24-0.
- Odbor Klimatologická služba. *Singularita*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 2019-03-30]. Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1637/>
- Pecho, J. et al., 2018, *Klimatologické zhodnotenie roka 2017. Meteorologický časopis, Roč. 21, č. 1*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 55–61. ISSN 1335-339X.
- Scharlau, K., 1943, *Die Schwüle als Meßbare Größe*. *Bioklimatische Beiblätter*, 10, 19–23.
- Stvorecz, A., 2014, *Egyelőre feleslegesen izzadunk* [online]. New wave media group kft., [cit. 2019-03-05]. Dostupné na: <https://www.origo.hu/egeszseg/20140804-tobb-szemponbol-is-megterheli-szervezetunket-a-levego-magas-paratartalma.html/>.
- Šinger, M., Slovenský hydrometeorologický ústav. *Dusno a mikrobrust* [online]. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 2018-06-30]. Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=734/>.
- Švec, M., *Dusné dni na Slovensku od roku 1951* [online]. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 2018-11-20]. Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=532/>.
- Trizna, M., 2012, *Klimageografia a hydrogeografia*. Bratislava: Geografika, 144 s (17). ISBN: 978-80-89317-20-2.
- Wiederhold, R.P., 1997, *Water Vapor Measurement: Methods and Instrumentation*. CRC Press, 384 s. ISBN 9780824793197.
- Zarnowiecki, G., 2003, *Sultry Weather Characteristics in Kielce*. [Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Climate], Poland: University of Kielce.

TROPICKÉ NOCI PODĽA NOČNEJ MINIMÁLNEJ TEPLoty VZDUCHU V HURBANOVE (1945 – 2021)

ĽUBOMÍR BABIN¹, JOZEF PECHO^{2,3}, MILAN ONDERKA^{4,2}, PAVOL FAŠKO², DALIBOR VÝBERČI⁵

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Meteorologické observatórium Hurbanovo, Komárňanská 108, 947 01 Hurbanovo

² Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

³ Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava

⁴ Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava

⁵ 941 62 Kmeťovo, daliborvyberci@protonmail.com

In a specially prepared 77 years long time series, we analysed the occurrence of tropical nights in true sense, that is detected by the night-time minimum of air temperature, at the centennial meteorological station-observatory in Hurbanovo, southwestern Slovakia. In the conditions of rapidly changing climate over the last approximately thirty years, the count and frequency of tropical nights in the given location increased very considerably and this was especially remarkable in case of the series of consecutive tropical nights. The obtained results also suggest the intensification of tropical nights. Adequately to these findings, a significant increase of the severity of tropical nights was observed. The topic, also considering a notability of our results, brings opportunity for various future climatological and especially human biometeorological assessments from Slovakia, which have not been conducted yet.

V špeciálne zostavenom 77 rokov dlhom časovom rade sme analyzovali výskyt tropických nocí v pravom zmysle slova, t. j. určených podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu, na významnej meteorologickej stanici-observatóriu v Hurbanove. V podmienkach rýchlo sa meniacej klímy v posledných zhruba tridsiatich rokoch v uvedenej lokalite veľmi výrazne vzrástla početnosť aj frekvencia výskytu tropických nocí, pričom tento stav je osobitne pozoruhodný v prípade sérií za sebou idúcich tropických nocí. Viaceré skutočnosti napovedajú taktiež o intenzifikácii tropických nocí. Adekvátne týmto zisteniam signifikantne vzrástla závažnosť tropických nocí. Téma, aj vzhľadom na dosiahnuté výsledky, prináša príležitosť pre rozmanité budúce klimatologické, a osobitne humánnobioklimatologické hodnotenia, ktoré zatiaľ nie sú zo Slovenska k dispozícii.

Key words: climatology, extreme weather, night-time minimum temperature, tropical night, climate change, Hurbanovo

ÚVOD

Početné dni so zaťažujúcimi nočnými hodnotami teploty vzduchu sa v súčasných klimatických podmienkach strednej Európy stávajú naozaj neoddeliteľnou súčasťou najteplejšej časti roka. Charakteristické tropické noci, počas ktorých teplota vzduchu neklesne pod 20 °C (Sobišek, 1993), sú v našom geograficko-klimatickom priestore rozhodne zaujímavým a aj dôležitým meteorologickým fenoménom. Ich význam je dominantne humánnobiometeorologický; veľmi teplé noci totiž narušajú prirodzený fyziologický rytmus ľudského organizmu, následkom čoho je obmedzená jeho schopnosť regenerovať sa v nočnom čase od tepelného stresu, ktorému bol predtým vystavený v denných hodinách. Nedostatočná nočná regenerácia následne vedie u vnímavých osôb k patogenéze, pričom aj v ťažkej forme a v najzávažnejších prípadoch s terminálnymi (letálnymi) dôsledkami. Na náraste úmrtnosti vyvolanom veľmi teplým počasím máva vystavenie vysokým nočným teplotám dokonca významný podiel (Murage a kol., 2017; Royé, 2017; Royé a kol., 2021).

Efekt nočného otepľovania býva hodnotený ako rýchlejší a významnejší v porovnaní s otepľovaním dennej doby (tzv. diurnálna asymetria otepľovania; napr. Karl a kol., 1993; Davy a kol., 2017). Aj na Slovensku, v rýchlo sa otepľujúcej klíme, markantne narastá početnosť prípadov vysokých hodnôt minimálnej a priemernej dennej teploty vzduchu, vrátane príslušných „dvadsaťstupňových“ denných miním znamenajúcich výskyt tropických nocí, a čoraz bežnejšími sú dlhé obdobia s ich neprerušeným výskytom

(Bochníček a kol., 2016; Výberči a kol., 2018b; Lukasová a kol., 2021; Pecho a kol., 2021).

Je dobre známe, že v klimatologickej štatistike má výskyt tropických nocí špecifické postavenie. Explicitná evidencia nočnej minimálnej teploty vzduchu, definovanej ako minimum medzi večerným a ranným klimatickým termínom meteorologických pozorovaní (Česká meteorologická spoločnosť, 2021), nie je medzinárodne predpísaná (Krška a Racko, 1993). V hodnoteniach sa preto tropické noci bežne definujú a identifikujú podľa štandardne a dlhodobo evidovanej celodennej minimálnej teploty, čo ale nie je úplne objektívne kvôli prípadom, keď teplota vzduchu poklesne pod hodnotu 20 °C neskôr v priebehu dňa (typicky sa to stáva v súvislosti s prechodom studeného frontu). Počet tropických nocí podľa celodennej minimálnej teploty preto býva skreslený (podhodnotený) v porovnaní so skutočným stavom (Júza, 2017; Pecho a Výberči, 2021). Popritom však nemožno zabudnúť ani na skresľovanie dosiahnutej hodnoty (t. j. intenzity/magnitúdy) teploty vzduchu, ktoré je ešte častejšie o prípady, keď teplota vzduchu od ranného do večerného klimatického termínu pozorovaní poklesne, ale nie pod 20 °C. Pochopiteľne, aj podhodnocovanie magnitúdy teploty vzduchu znemožňuje korektné hodnotiť niektoré aspekty tropických nocí, napr. ich intenzitu či extrémy.

V každom prípade je zrejmé, že oba diskutované prístupy identifikácie tropických nocí je potrebné náležite a dôsledne odlišovať s použitím správnej terminológie. Krška a Racko (1993 a 1996) použili pre tropické noci

identifikované podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu prívlastok „skutočné“, zatiaľ čo tropické noci detegované podľa celodennej minimálnej teploty označili ako „nepravé“, či „takzvané“. Výslovným zámerom a fundamentom našej analýzy bola identifikácia tropických nocí v pravom zmysle slova, čiže podľa nočnej minimálnej teploty (ďalej v texte aj kratšie: „tropické noci“, t. j. bez ďalšieho prívlastku). Tropické noci identifikované podľa celodennej minimálnej teploty pri občasnnej vzájomnej konfrontácii uvádzame vždy úplným a plnovýznamovým popisom.

Vo vybraných lokalitách na Slovensku, resp. pre naše územie sa doteraz určité, avšak len menšia pozornosť venovala výskytu tropických nocí podľa celodennej minimálnej teploty vzduchu (Racko, 1987; Krška a Racko, 1993, 1996; Hrvol, 2006; Birsan a kol., 2014; Bochníček a kol., 2015, 2016; Lapin a kol., 2016; Hoy a kol., 2017). Tropickými nocami v pravom zmysle slova sa u nás podľa našich vedomostí doteraz nezaoberala žiadna odborná štúdia. Pre toto pilotné, komplexné klimatologické spracovanie sme nemohli zvoliť inú než meteorologickú stanicu-observatórium v Hurbanove, popredný a klimatologicky nesporne najvýznamnejší prvok v rámci staničnej siete Slovenska. Práve v súčasnom období oslavujeme 150-ročnicu založenia inštitucionálnej bázy hurbanovských meraní, pričom je zároveň kompletizovaný poldruha storočia dlhý časový rad niektorých hlavných meteorologických charakteristík z tejto pozoruhodnej stanice (Výberčí a kol., 2021). Pre potreby tejto práce sa nám napokon podarilo zostaviť kontinuálny a spoľahlivý rad náležitých nočných minimálnych teplot vzduchu z Hurbanova v dĺžke 77 rokov.

POUŽITÝ MATERIÁL A METODIKA SPRACOVANIA

Pre analýzu boli dostupné a spracované údaje o teplote vzduchu z meraní Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) na meteorologickom observatóriu Hurbanovo. Ide o referenčnú, dlhodobu profesionálnu a klimatologicky najvýznamnejšiu stanicu na území dnešného Slovenska. Hurbanovské časové rady charakteristík teploty vzduchu patria v rámci Slovenska medzi najkvalitnejšie a spĺňajú prísne kritéria homogenity a úplnosti príslušných údajov. Uvedené skutočnosti prispievajú k vysokej spoľahlivosti analyzovaných údajov. Hurbanovo leží na rovinatom území v rámci Podunajskej nížiny na juhozápadnom Slovensku, v jednej z najteplejších oblastí krajiny, podľa národnej klimatickej klasifikácie charakterizovanej ako teplá a veľmi suchá oblasť (okrsok) s miernou zimou (Konček a Petrovič, 1957; Kol. autorov, 2015). Od septembra 1900 až do súčasnosti sa meranie teploty vzduchu vykonáva na rovnakom mieste; nadmorská výška terénu pod meteorologickou budovou je 115 m, staničný a extrémne teplomery sú umiestnené vo výške 116,65 m n. m. (napr. Kol. autorov, 1960).

Primárnu analyzovanú meteorologickú charakteristiku predstavovala nočná minimálna teplota vzduchu (v čase od 21. do 7. h stredného miestneho času [SMČ]; odčítanie minimálneho teplomeru v rannom klimatickom termíne o 7. h SMČ). Formálne poznamenávame, že nočná minimálna teplota priradená dňu *d* v oficiálnej evidencii označuje

minimum dosiahnuté v noci medzi večerným termínom predchádzajúceho kalendárneho dňa *d-1* a daného dňa *d*, teda napr. nočná minimálna teplota pre 15. júl je nameraná v noci zo 14. na 15. júla. Použité údaje o nočnej minimálnej teplote vzduchu od 1. januára 2004 boli dostupné priamo v elektronickej forme v klimatickej databáze SHMÚ, v separátnej evidencii údajov zo spravodajstva INTER, ktoré je poskytované z vybraných meteorologických staníc. Predtým, od 1. januára 1971 do konca roka 2003, bola nočná minimálna teplota prebratá z evidencie v štandardných mesačných výkazoch meteorologických pozorovaní. Ešte staršie záujmové údaje o nočnej minimálnej teplote bolo možné dohľadať v staničných denníkoch, a to pre Hurbanovo od obdobia po skončení 2. svetovej vojny, po tom čo meteorologické observatórium v priebehu roka 1945 prešlo do správy meteorologickej služby na Slovensku a začalo sa systematické vykonávanie a evidencia pozorovaní pod slovenským vedením (Kol. Autorov, 1960; Výberčí a kol., 2021). Denníky so štandardizovanou evidenciou údajov boli k dispozícii presne od 1. júla 1945. Za účelom ustálenia analyzovaného obdobia na celé roky boli záznamy zo zvyšných dní v priebehu roka 1945 preverené za pomoci hodinových vyčíslení termografických pásovk, pričom sa s istotou podarilo ustanoviť, že v týchto chýbajúcich dňoch sa žiadna tropická noc nevyskytla. Ucelený a spoľahlivý rad tropických nocí, určených nočnou minimálnou teplotou vzduchu $\geq 20,0^{\circ}\text{C}$, sa nám teda napokon podarilo skonštruovať od roku 1945. S veľkou istotou ide o vôbec najdlhšiu možnú kontinuálnu a hodnovernú evidenciu nočnej minimálnej teploty z Hurbanova. Predovšetkým, v ešte skoršom období už existujú výpadky, pričom početné, v dostupnosti staničných denníkov. Podľa hodinových vyčíslení termografických pásovk, ktoré sú k dispozícii aj pred rokom 1945, pre zmenu nemožno nočnú minimálnu teplotu vzduchu verne/presne určiť. Vo finále boli pre potreby tejto práce digitalizované relevantné údaje o nočnej minimálnej teplote vzduchu z príslušných analógových dokumentov, disponibilných priamo v staničnom archíve meteorologického observatória v Hurbanove, a taktiež v ústrednom archíve SHMÚ v Bratislave, na Kolibe.

Okrem nočnej minimálnej teploty vzduchu boli doplnkovo spracované aj údaje o celodennej minimálnej teplote (v čase od 21. do 21. h SMČ; odčítanie minimálneho teplomeru vo večernom klimatickom termíne o 21. h SMČ), pre Hurbanovo kompletne dostupné v elektronickej forme v klimatickej databáze SHMÚ, a to neprerušene od 1. januára 1901. Napokon, za účelom identifikácie potenciálnych tropických nocí a súčasne kontroly údajov, sme doplnkovo použili údaje o okamžitej hodnote teploty vzduchu zo staničného teplomeru v Hurbanove v rannom a večernom klimatickom termíne, kompletne dostupné v elektronickej forme v klimatickej databáze SHMÚ od 1. januára 1872.

Koniec spracovaného obdobia bol v prípade všetkých údajov 31. októbra 2021.

Štatisticky sme hodnotili nasledovné parametre tropických nocí: početnosť a frekvencia, trvanie v dňoch (pri neprerušenom výskyte, t. j. sériách); intenzita – dosiahnutá magnitúda teploty vzduchu; závažnosť – vyjadrená sumou kladných odchýlok teploty vzduchu od hodnoty 20°C (predstavuje kombinovaný vplyv početnosti/trvania a intenzity).

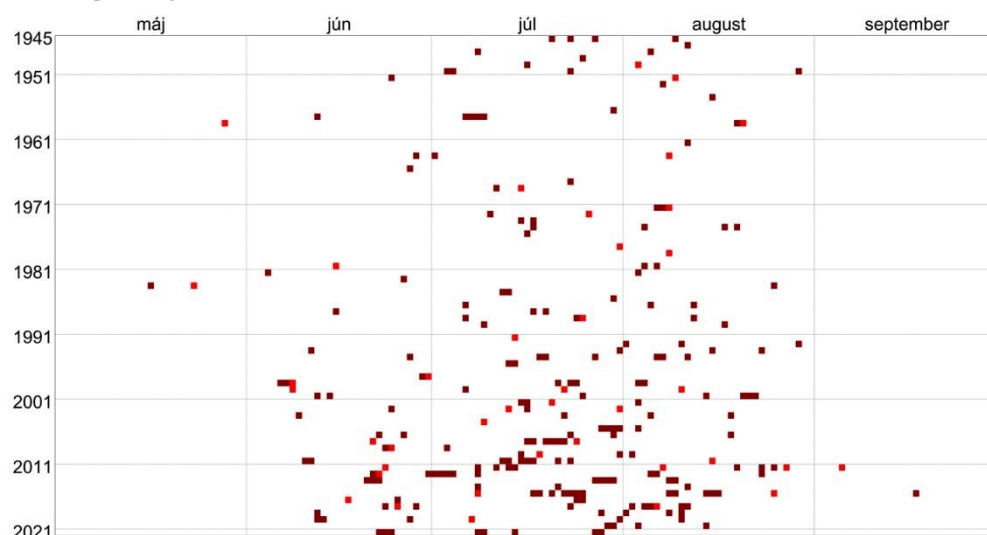
VÝSLEDKY

V rokoch 1945–2021 sa v Hurbanove podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu vyskytlo spolu 245 tropických nocí (Obr. 1). Takmer polovica z nich, presne 116 (47,4%), pripadla na mesiac júl. V auguste ich bolo 78 (31,8%), v júni 46 (18,8%), ojedinelé tropické noci sa vyskytli v máji (3; 1,2%) a len nedávno sa objavili dokonca už aj v septembri (2; 0,8%). Pri detailnejšom pohľade je výskyt tropických nocí v ročnom chode najtypickejší pre obdobie od polovice júla do konca prvej dekády augusta. Najskoršia tropická noc bola zaznamenaná 16. mája (v roku 1983), najneskoršia 17. septembra (2015). Najviac tropických nocí (15) sa vyskytlo v príslušnej extrémne teplej sezóne roka 2015 (Bochníček a kol., 2015; Hoy a kol., 2017).

Skutočný počet tropických nocí v Hurbanove v analyzovanom období podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu bol spolu o takmer 19 % vyšší než pri identifikácii podľa celodennej minimálnej teploty (Tab. 1). Popritom navýšenie počtu všetkých prípadov, kedy dosiahnutá tropická hodnota nočnej minimálnej teploty bola vyššia v porovnaní s hodnotou celodennej minimálnej teploty v danom dni, predstavovalo takmer 30 %. K výraznejšiemu skresľovaniu početnosti tropických nocí dochádzalo v júni a mimo letné mesiace. Je tiež markantné, že v podmienkach teplejšej klímy ku koncu sledovaného obdobia bolo skresľovanie počtu aj intenzity tropických nocí menšie.

Obrázok 1. Časová distribúcia tropických nocí v Hurbanove v období 1945–2021. Svetlejším odtieňom sú vykreslené tropické noci, nedetegovateľné podľa celodennej minimálnej teploty vzduchu. V nezobrazených kalendárnych mesiacoch sa nevyskytla žiadna tropická noc.

Figure 1. Temporal distribution of tropical nights based on night-time minimum air temperature ($\geq 20.0^{\circ}\text{C}$) in Hurbanovo, 1945–2021. Tropical nights, undetectable by all-day minimum temperature, are depicted in lighter color tone. In the calendar months not shown, tropical nights did not occur.



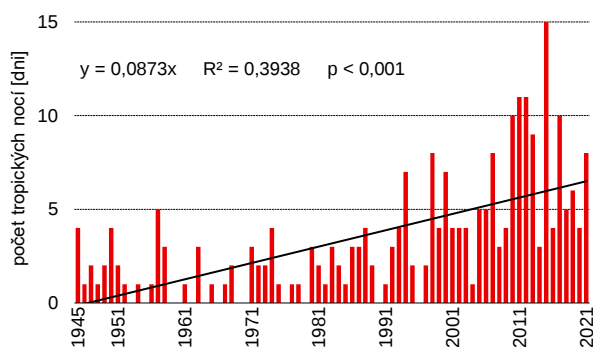
Tabuľka 1. Porovnanie hodnôt vybraných ukazovateľov výskytu tropických nocí (TN) v Hurbanove na základe nočnej a celodennej minimálnej teploty vzduchu v období rokov 1945–2021.

Table 1. Comparison of selected tropical nights occurrence indicators based on night-time and all-day minimum air temperature in Hurbanovo, 1945–2021. The indicators in columns from left: count of identified tropical nights (TN) according to night-time minimum, count of identified tropical nights according to all-day minimum, count of days with equal night-time and all-day minimum, % excess of tropical nights according to night-time minimum, % excess of cases with higher night-time minimum.

Obdobie	Počet TN podľa nočnej min. tepl.	Počet TN podľa celodennej min. tepl.	Počet TN s totožnou hodnotou nočnej a celodennej min. tepl.	Navýšenie počtu TN podľa nočnej min. tepl. [%]	Navýšenie počtu prípadov s vyššou hodnotou nočnej min. tepl. [%]
Celkom (1945–2021)	245	206	189	18,9	29,6
mesiac/ sezóna	jún	46	36	27,8	27,8
	júl	116	102	13,7	28,9
	august	78	66	18,2	27,9
	leto	240	204	17,6	28,3
	mimo leto	5	2	150,0	150,0
roky	1951–1980	38	28	35,7	46,2
	1961–1990	46	37	24,3	39,4
	1971–2000	76	63	20,6	28,8
	1981–2010	107	90	18,9	27,4
	1991–2020	164	138	18,8	23,3
	1945–1990	73	60	21,7	49,0
	1991–2021	172	146	17,8	22,9

Obrázok 2. Ročný počet tropických nocí v Hurbanove a lineárny trend jeho vývoja v období rokov 1945–2021.

Figure 2. Annual count of true tropical nights in Hurbanovo, 1945–2021, with the indicated linear trend.



Tabuľka 2. Priemerné hodnoty početnosti a intenzity (magnitúdy) tropických nocí v Hurbanove vo vybraných tridsaťročiach.

Table 2. Average values of frequency (count) and intensity (magnitude) of true tropical nights in Hurbanovo in the selected 30-years periods.

Tridsaťročie	Priem. ročný počet [dni]	Priem. intenzita [°C]
1945–1974	1,53	20,9
1946–1975	1,43	20,9
1951–1980	1,27	20,9
1956–1985	1,43	20,7
1961–1990	1,53	20,7
1966–1995	1,93	20,7
1971–2000	2,53	20,8
1976–2005	2,73	20,9
1981–2010	3,57	20,9
1986–2015	4,90	21,1
1991–2020	5,47	21,1
1992–2021	5,70	21,2

Ročný počet hurbanovských tropických nocí má v období rokov 1945–2021 veľmi markantnú a štatisticky významnú stúpajúcu tendenciu (Obr. 1 a 2). Vyššia početnosť a frekvencia tropických nocí je veľmi nápadná obzvlášť v posledných zhruba dvadsiatich rokoch; neskoršia polovica tropických nocí v uvedenom záujmovom období 77 rokov sa vyskytla za posledných 19 rokov – od roku 2003, tri štvrtiny zo všetkých tropických nocí za posledných 36 rokov – od 1986. Štatisticky významné na hladine $\alpha = 0,001$ sú okrem rastúceho trendu celkovej ročnej početnosti (Obr. 2) aj trendy pre jednotlivé mesiace jún, júl a august. V júli je tendencia výraznejšia ($y = 0,0404x$ a $R^2 = 0,2574$), v prípade júna a augusta je rastúci trend o niečo zdržanlivejší ($y = 0,0234x$ a $R^2 = 0,3123$; resp. $y = 0,0226x$ a $R^2 = 0,1354$). Mesiace máj a september sme v tomto ohľade kvôli ojedinelému výskytu tropických nocí nehodnotili.

Značné zvýšenie frekvencie výskytu tropických nocí dokumentujeme aj na zmenách v ich priemerných počtoch za tridsaťročné obdobia (Tab. 2). V porovnaní so začiatkom analyzovaného obdobia sa v súčasnosti v Hurbanove ročne vyskytujú v priemere o vyše 4 tropické noci viac, čo predstavuje takmer zoštvornásobenie početnosti.

Názna zmeny vo výskyte hurbanovských tropických nocí v zmysle rastu hodnôt tropických nočných minim teploty vzduchu v poslednom období, je badateľný z ich priemerných hodnôt vo vybraných tridsaťročiach (Tab. 2). Intenzifikáciu tropických nocí však možno veľmi zaujímavo ilustrovať aj na základe poradia absolútne najteplejších zaznamenaných tropických nocí (Tab. 3). Od roku 1945 bola v Hurbanove nočná minimálna teplota aspoň 23 °C prvýkrát zaznamenaná v roku 1971, hodnota aspoň 23,5 °C bola premiérovou dosiahnutá v roku 1997, aspoň 24 °C v roku 2012, aspoň 24,5 °C v roku 2013 a tento rok (2021) sme v Hurbanove zaznamenali dokonca už aj prvú tzv. „super-tropickú“ (Lapin a kol., 2016) noc s minimom ≥ 25 °C. Prehľad najvyšších tropických nočných minim pre jednotlivé mesiace, pre porovnanie doplnený aj o najvyššie celodenné minimum, zachytáva Tab. 4.

V súlade s významne sa zvyšujúcou početnosťou a frekvenciou výskytu hurbanovských tropických nocí pozorujeme v poslednom období aj zreteľne vyjadrený nárast ich závažnosti. Celkovo (Obr. 3), ako aj osobitne pre prvé dva letné mesiace ($y = 0,0287x$ a $R^2 = 0,2064$ pre jún, resp. $y = 0,0616x$ a $R^2 = 0,2177$ pre júl) je trend zvyšujúcej sa závažnosti štatisticky významný na hladine $\alpha = 0,001$, v prípade augusta ($y = 0,0190x$ a $R^2 = 0,0559$) na hladine $\alpha = 0,05$.

Tabuľka 3. Najteplejšie tropické noci v Hurbanove v období rokov 1945–2021 s nočnou minimálnou teplotou vzduchu 23,0 °C alebo vyššou.

Table 3. The warmest tropical nights in Hurbanovo, 1945–2021, with night-time minimum air temperature 23,0 °C or higher.

Dátum	Nočná min. teplota [°C]	Dátum	Nočná min. teplota [°C]
9.VII.2021	25,4	5.VIII.2017	23,4
29.VII.2013	24,8	8.VIII.1978	23,2
8.VII.2015	24,5	11.VIII.1994	23,1
3.VII.2012	24,4	10.VIII.2017	23,1
21.VI.2013	24,4	14.VII.2021	23,1
1.VII.2012	23,9	8.VIII.1971	23,0
30.VI.1997	23,8	17.VII.1987	23,0

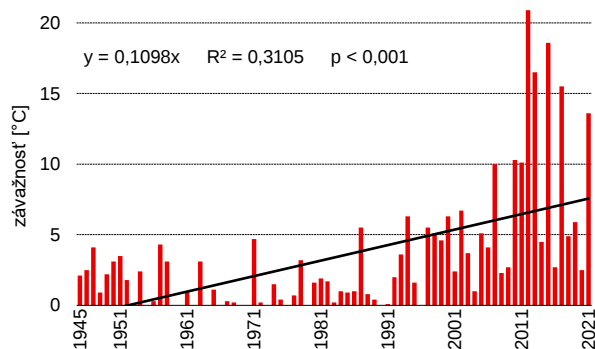
Tabuľka 4. Najvyššie zaznamenané tropické hodnoty nočnej a celodennej minimálnej teploty vzduchu v Hurbanove v jednotlivých mesiacoch. V nezobrazených kalendárnych mesiacoch sa nevyskytla žiadna tropická noc.

Table 4. The highest values of night-time and all-day minimum air temperature ≥ 20 °C in Hurbanovo for individual months. In the calendar months not shown, tropical nights did not occur.

Mesiac	Najvyššia nočná min. teplota (1945–2021)	Najvyššia celodenná min. teplota (1901–2021)
máj	22,1 28.V.1958	20,0 16.V.1983
jún	24,4 21.VI.2013	24,4 21.VI.2013
júl	25,4 9.VII.2021	24,8 29.VII.2013
august	23,4 5.VIII.2017	23,4 5.VIII.2017
september	22,0 5.IX.2011	20,4 17.IX.2015

Obrázok 3. Ročná závažnosť tropických nocí, vyjadrená sumou kladných odchýlok teploty vzduchu od hodnoty 20 °C, v Hurbanove a lineárny trend jej vývoja v období 1945–2021.

Figure 3. Annual severity of true tropical nights, expressed as a sum of air temperature positive deviations from the 20 °C value, in Hurbanovo, 1945–2021, with the indicated linear trend.



Zatiaľ čo Racko (1987) vo svojej analýze za obdobie 1951–1975 skonštatoval, že podrobnejšie spracovanie obdobia tropických nocí nemá význam vzhľadom na ich ojedinelý výskyt, najmä za posledných asi 30 rokov sa táto problematika stala klimatologicky nielen plnohodnotne aktuálnou, ale vzhľadom k závažným negatívnym zdravotným dôsledkom veľmi teplých nocí je aj čoraz relevantnejšou. Zistené okolnosti dlhodobého výskytu sérií tropických nocí v Hurbanove sú svojim spôsobom osobitne pozoruhodné. Od roku 1945 až do roku 1993 vrátane, výrazne prevažovali individuálne tropické noci, zatiaľ čo aspoň dve za sebou idúce tropické noci sa vyskytovali len výnimočne (Obr. 1); takýchto prípadov bolo len 6, t. j. priemerne jedna séria za približne 8 rokov. V rokoch 1994–2021 však početnosť predmetných sérií enormne vzrástla, keď ich bolo zaznamenaných až 35, čo predstavuje priemer 1,25 série každý rok. Napriek tomu, že doposiaľ absolútne najdlhší súvislý sled 5 tropických nocí sa vyskytol

Tabuľka 5. Najvýznamnejšie série tropických nocí v Hurbanove v období rokov 1945–2021 podľa trvania, priemernej intenzity a závažnosti. V zátvorke je uvedené poradie pri troch popredných sériách podľa každého z uvedených ukazovateľov.

Table 5. The major series of true tropical nights in Hurbanovo, 1945–2021. The ranking of top three series according to each of the respective variables is given in brackets. The variables in columns from left: duration in days, average intensity (magnitude), severity (sum of air temperature positive deviations from the 20 °C value).

Dátum začiatku	Dátum konca	Trvanie [dni]	Priem. intenzita [°C]	Závažnosť = suma kladných odch. od 20 [°C]
6.VII.1957	9.VII.1957	4 (2.–6.)	21,0	4,0
29.VI.1997	30.VI.1997	2	22,8 (3.)	5,5
28.VII.2005	31.VII.2005	4 (2.–6.)	21,2	4,8
19.VII.2007	22.VII.2007	4 (2.–6.)	20,7	2,8
30.VI.2012	4.VII.2012	5 (1.)	23,1 (1.)	15,6 (1.)
20.VI.2013	22.VI.2013	3	22,6	7,9 (2.)
27.VII.2013	30.VII.2013	4 (2.–6.)	21,6	6,4
22.VII.2015	25.VII.2015	4 (2.–6.)	21,6	6,6
4.VIII.2017	6.VIII.2017	3	22,3	6,9 (3.)
8.VII.2021	9.VII.2021	2	23,0 (2.)	6,1

v roku 2012 (Tab. 5), akékoľvek konštatovanie o možnom predĺžovaní sérií tropických nocí v poslednom období nie je vhodné, a to kvôli len sporadicky sa vyskytujúcim prípadom v minulosti počas väčšej časti analyzovaného obdobia, medzi ktorými sa však paradoxne objavila troj- (v auguste 1971) aj štvordňová (v júli 1957) séria tropických nocí. Pochopiteľne, z rovnakého dôvodu nie je adekvátne ani hodnotenie dlhodobých zmien intenzity sérií. Reflektujúci značný nárast početnosti, závažnosť sérií v priebehu obdobia 1945–2021 v kontexte celkového výskytu štatisticky významne vzrástla ($y = 0,0746x$; $R^2 = 0,2037$; $p < 0,001$).

Na záver analýzy sme dodatočne upriamili pozornosť na eventuálny výskyt extrémov tropických nocí v období 1901–1944 podľa celodennej minimálnej teploty vzduchu, keďže kompletný a hodnoverný časový rad nočnej minimálnej teploty za toto dávnejšie obdobie nie je možné zostaviť. Konštatujeme, že v uvedenom období nebol podľa celodennej minimálnej teploty zaznamenaný žiaden výraznejší extrém tropickej noci, ani série tropických nocí, než sú vyššie prezentované prípady, identifikované podľa nočnej minimálnej teploty v období 1945–2021.

DISKUSIA A ZÁVER

V práci sme na príklade nami analyzovanej lokality potvrdili (porovnaj s Bochníček a kol., 2016; Lapin a kol., 2016), resp. zistili mnohé podstatné skutočnosti čoraz nárastnejšieho výskytu tropických nocí, nami identifikovaných v pravom zmysle slova podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu, v súčasnej klíme. Táto problematika, ktorej na Slovensku zatiaľ nebola venovaná systematickejšia pozornosť, nielenže prináša vskutku veľkú príležitosť pre početné ďalšie nadväzujúce analýzy rôzneho zamerania, ale vzhľadom k prezentovaným výsledkom sa téma minimálne z klimatologického hľadiska javí ako veľmi zásadná.

Nastolený významný trend rastúcej celkovej ročnej početnosti tropických nocí v Hurbanove za obdobie 1945–2021 vykazuje silnejší korelačný vzťah (Obr. 2, $R^2 = 0,3938$) než je to v prípade tropických dní s dosiahnutou maximálnou dennou teplotou vzduchu 30 °C alebo viac ($R^2 = 0,3061$), a taktiež v porovnaní s príslušným trendom tzv. supertropických dní s maximom 35 °C alebo vyšším ($R^2 = 0,1352$). Súčasne je spomenutý trend tropických nocí ($y = 0,0873x$ a $R^2 = 0,3938$) vyjadrený zreteľnejšie než v prípade tropických nocí, identifikovaných podľa celodennej minimálnej teploty ($y = 0,0755x$ a $R^2 = 0,3621$). Aj z týchto dôvodov sa na spracovanie prvoplánovo ponúka objektívna komparatívna analýza zvyšovania priemerov nočných minim a analogicky denných maxim, a teda ich podielu na celkovom oteplení klímy v podmienkach Slovenska, ako už bolo naznačené v práci Damborskej a kol. (2015).

Hoci Hurbanovo leží v jednej z najteplejších oblastí krajiny, z pohľadu výskytu tropických nocí nepatrí medzi najcharakteristickejšie lokality na území Slovenska. V tomto ohľade zostáva akiste žiadateľné a zaujímavé zamerať v budúcnosti pozornosť na také špecifické polohy, akými sú teplé svahové zóny (existujúce meteorologické stanice Bratislava-Koliba, Orechová), závetria pohorí s fénovými efektami (Piešťany, Kuchyňa, stredné a horné Ponitrie: Kamanová, Prievidza), lokality v rámci alebo v blízkosti veľkých mestských aglomerácií (Bratislava-letisko), či lokality s kombinovaným vplyvom uvedených činiteľov (Bratislava-Mlynská dolina (Hrvoľ, 2006), Topoľčany). Nemale opodstatnenie bude zaiste mať taktiež následné porovnanie trendov vo výskyte tropických nocí medzi jednotlivými typmi polôh. V niektorých lokalitách sú pritom uvedené námety zvýraznené navyše aj tým, že v nich dochádza k veľmi výraznému skresľovaniu výskytu tropických nocí (Pecho a Výberči, 2021).

Tropické noci sú javom vyžadujúcim pozornosť predovšetkým kvôli ich dosahu na verejné zdravie. Keďže aj v našej krajine bol potvrdený výrazný letálny účinok horúčav na zdravotný stav obyvateľstva (Výberči a kol., 2015, 2018a), ďalšie dôležité odborné námety predstavujú prepojenie výskytu tropických nocí s indikátormi zdravia slovenskej populácie a špecifikovanie miery ohrozenia týmito veľmi teplými nocami pri výskyte horúčav. Zvlášť rizikovým prostredím v tomto smere bývajú (veľko)mestá s príznačným tzv. ostrovom tepla, ktorý bol na Slovensku v posledných rokoch pomerne bohato dokumentovaný v prípade našich najväčších miest (Rusňák a Lieskovský, 2017; Onačilová a Gallay, 2018; Holec a kol., 2020, 2021; Poárová a Vranayová, 2020).

Veľkú dôležitosť môžu predstavovať zistenia o priam frapantne zvýšenom výskyte tropických nočných minim teploty vzduchu počas za sebou idúcich nocí. Bolo preukázané, že horúčavami vyvolaná nadbytočná úmrtnosť na Slovensku štatisticky významne vzrastá práve pri aspoň dvojdňovom trvaní veľmi teplého počasia (Výberči a kol., 2015). Série horúcich dní s obsiahnutými tropickými nocami tak zo zdravotného hľadiska môžu byť pre exponovanú vnímavú populáciu obzvlášť ohrozujúce.

Podakovanie

V súvislosti s aktuálne si pripomínaným významným výročím meteorologických pozorovaní v Hurbanove by sme radi vzdali hold všetkým pozorovateľom a inak angažovaným osobám, slúžiacim na tamtojšej meteorologickej stanici-observatóriu v priebehu dlhej, a bezpochyby pozoruhodne pestrej histórie jej prevádzky. Symbolicky tak na tomto mieste vyjadrujeme poďakovanie a uznanie za ich prácu, vďaka ktorej máme v rámci územia dnešného Slovenska k dispozícii unikátny, mimoriadne cenný materiál pre klimatologický výskum. Ďakujeme tiež obom recenzentom za posúdenie nášho príspevku a cenné obsahové pripomienky.

LITERATÚRA

- Birsan, M.-V.–Dumitrescu, A.–Micu, D.M.–Cheval, S., 2014, *Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961*. *Nat. Hazards* 74(3): 1899–1910.
- Bochníček, O.–Faško, P.–Švec, M.–Markovič, L., 2016, *Heat waves and warm periods in Slovakia* [poster]. 18th EGU General Assembly Conference. Vienna: 17–22 April 2016. [Abstrakt dostupný online na <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-2086.pdf>. Posledný prístup 30.9.2021.]
- Bochníček, O.–Švec, M.–Faško, P., 2015, *Rok 2015, ďalší rok s mimoriadnym až extrémne vysokým počtom letných dní, tropických dní a tropických nocí*. In: Čelková, A. (ed.), 22nd International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day – Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System: Proceedings of peer-reviewed contributions. Ústav hydrológie SAV. Bratislava: 12. novembra 2015. 36–40.
- Česká meteorologická spoločnosť, 2021, *Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)*. [Dostupné online na <http://slovník.cmes.cz>. Posledný prístup 30.9.2021.]
- Damborská, I.–Gera, M.–Melo, M.–Lapin, M.–Nejedlík, P., 2015, *Changes in the daily range of the air temperature in the mountainous part of Slovakia within the possible context of global warming*. *Meteorologische Zeitschrift* 25(1): 17–35.
- Davy, R.–Esau, I.–Chernokulsky, A.–Outten, S.–Zilitinkevich, S., 2017, *Diurnal asymmetry to the observed global warming*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 37(1): 79–93.
- Holec, J.–Feranec, J.–Šťastný, P.–Szatmári, D.–Kopecká, M.–Garaj, M., 2020, *Evolution and assessment of urban heat island between the years 1998 and 2016: case study of the cities Bratislava and Trnava in western Slovakia*. *Theoretical and Applied Climatology* 141(3–4): 979–997.
- Holec, J.–Šveda, M.–Szatmári, D.–Feranec, J.–Bobáľová, H.–Kopecká, M.–Šťastný, P., 2021, *Heat risk assessment based on mobile phone data: case study of Bratislava, Slovakia*. *Natural Hazards* 108(3): 3099–3120.
- Hoy, A.–Hänsel, S.–Skalak, P.–Ustrnul, Z.–Bochníček, O., 2017, *The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective*. *International Journal of Climatology* 37(2): 943–962.
- Hrvoľ, J., 2006, *Extreme air temperatures in Bratislava, Mlynská dolina for the period 1983–2005*. In: Lapin, M.–Matejka, F. (eds.), *Bioclimatology and water in the land: Proceedings of the international scientific conference*. Střečno: 11–14 September 2006. 20 p.
- Karl, T. R.–Jones, P. D.–Knight, R. W.–Kukla, G.–Plummer, N.–Razuvaev, V.–Gallo, K. P.–Lindseay, J.–Charlson, R. J.–Peterson, T. C., 1993, *A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 74(6): 1007–1024.
- Kolektív autorov, 1960, *Klimatické pomery Hurbanova*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 278 pp.
- Kolektív autorov, 2015, *Klimatický atlas Slovenska*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 131 pp.

- Konček, M.–Petrovič, Š., 1957, Klimatické oblasti Československa. *Meteorologické zprávy* 10(5): 113–119.
- Krška, K.–Racko, S., 1993, Horúce leto 1992 v Českej a v Slovenskej republike, jeho synoptický výklad a klimatologické zhodnotenie. *Meteorologické zprávy* 46(2): 33–41.
- Krška, K.–Racko, S., 1996, Mimoriadne teplé leto 1994 v Českej a v Slovenskej republike. *Meteorologické zprávy* 49(1): 12–21.
- Jůza, P., 2017, Porovnání počtu tropických nocí a počtu dnů s minimální teplotou aspoň 20 °C a vyšší v ČR. *Meteorologické zprávy* 70(2): 51–56.
- Lapin, M.–Šťastný, P.–Turňa, M.–Čepčková, E., 2016, High temperatures and heat waves in Slovakia. *Meteorologický časopis* 19(1): 3–10.
- Lukasová, V.–Škvareninová, J.–Bičárová, S.–Sitárová, Z.–Hlavatá, H.–Borsányi, P.–Škvarenina, J., 2021, Regional and altitudinal aspects in summer heatwave intensification. *Theoretical and Appl. Climatology* 146(3–4): 1111–1125.
- Murage, P.–Hajat, S.–Kovats, R.S., 2017, Effect of night-time temperatures on cause and age-specific mortality in London. *Environmental Epidemiology* 1(2): e005.
- Onačillová, K.–Gallay, M., 2018, Spatio-temporal analysis of surface urban heat island based on Landsat ETM+ and OLI/TIRS imagery in the city of Košice, Slovakia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(2): 395–408.
- Pecho, J.–Výberčí, D., 2021, Tropické noci na Slovensku: podhodnotené a čoraz nápadnejšie sa vyskytujúce. Slovenský hydrometeorologický ústav – Aktuality SHMÚ. [Dostupné online na <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1147>. Posledný prístup 30.9.2021.]
- Pecho, J.–Výberčí, D.–Faško, P.–Bochníček O., 2021, Žatva rekordov v lete 2021: nové zápisy v evidencii historicky najdlhších horúčav na Slovensku. Slovenský hydrometeorologický ústav – Aktuality SHMÚ. [Dostupné online na <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1145>. Posledný prístup 30.9.2021.]
- Poórová, Z.–Vranayová, Z., 2020, Modeling Košice heat islands map. In: Poórová, Z.–Vranayová, Z., *Green Roofs and Water Retention in Košice, Slovakia*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 133 pp.
- Racko, S., 1987, Obdobia letných a tropických dní a tropické noci na Slovensku v rokoch 1951–1975. *Meteorologické zprávy* 40(5): 135–137.
- Royé, D., 2017, The effects of hot nights on mortality in Barcelona, Spain. *International Journal of Biometeorology* 61(12): 2127–2140.
- Royé, D.–Sera, F.–Tobías, A.–Lowe, R.–Gasparrini, A.–Pascal, M.–de'Donato, F.–Nunes, B.–Teixeira, J. P., 2021, Effects of hot nights on mortality in Southern Europe. *Epidemiology* 32(4): 487–498.
- Rusňák, T.–Lieskovský, J., 2017, Výpočet teploty povrchu v Bratislave pomocou satelitných snímok. *Životné prostredie* 51(1): 37–40.
- Sobišek, B. (ed.), 1993, Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha: Academia, 594 pp.
- Výberčí, D.–Labudová, L.–Eštoková, M.–Faško, P.–Trizna, M., 2018a, Human mortality impacts of the 2015 summer heat spells in Slovakia. *Theoretical and Applied Climatology* 133(3–4): 925–936.
- Výberčí, D.–Pecho, J.–Faško, P.–Bochníček, O., 2018b, Teplé a chladné obdobia na Slovensku (1951–2017) v kontexte klimatickej zmeny. *Meteorolog. časopis* 21(2): 101–108.
- Výberčí, D.–Pecho, J.–Faško, P.–Bochníček, O., 2021, Hurbanovské sídlo vedy nám slúži už 150 rokov. *Meteorologický časopis* 24(1): 52–55.
- Výberčí, D.–Švec, M.–Faško, P.–Savinová, H.–Trizna, M.–Mičietová, E., 2015, The effects of the 1996–2012 summer heat events on human mortality in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23(3): 58–70.

SATELITNÉ PRODUKTY NA SHMÚ S POTENCIÁLOM MONITORINGU ZRÁŽOK A SUCHA

JÁN KAŇÁK, ĽUBOSLAV OKON, MARTIN MADARA, MARIÁN JURAŠEK, LADISLAV MÉRÍ,
KATEŘINA HRUŠKOVÁ, MARCEL ZVOLENSKÝ

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Primary satellite data, especially images from the Meteosat satellite of processing level L1.5, have been received and used at SHMÚ for a long time, especially in operational mode in the Department of Meteorological Forecasts and Alerts in the form of animations of colour composite images. Data processed into higher-level products are still used less frequently, especially in the context of processing by NWC SAF software, or directly by SAF products received by the EUMETCast Satellite receiving system. Such products include the hydrology support products of the EUMETSAT H SAF (Hydrological Satellite Application Facility). SHMÚ, as a member of the consortium, has long been involved in the task of validation of products for precipitation detection and hydrological applications of these products. In this article we present to the professional public operational satellite products for precipitation detection, the procedure for their validation and a case study presenting the use of these products in evaluating the long-term accumulated precipitation. Accumulated precipitation can be used to monitor periods of droughts with precipitation deficits and surpluses. The ambition of this work is to show future users of satellite data that satellite products of a higher level of processing have the potential for climatological studies. A significant increase in this potential is expected in the near future thanks to the launch of the new generation of MTG (third generation Meteosat) and EPS-SG (second generation European Polar System) satellites.

Primárne satelitné údaje, najmä snímky z družice Meteosat úrovne spracovania L1.5, sú na SHMÚ dlhodobo prijímané a využívané najmä v operatívnej prevádzke v Odbore meteorologických predpovedí a výstrah vo forme animácií farebných kompozitných snímok. Údaje spracované do produktov vyššej úrovne sú dosiaľ využívané menej často, a to najmä v rámci spracovania softvérom NWC SAF, alebo priamo SAF produkty prijímané prijímacím systémom EUMETCast Satellite. K takýmto produktom patria aj produkty pre podporu hydrológie EUMETSAT H SAF (Hydrological Satellite Application Facility). SHMÚ sa ako jeden z členov konzorcia podieľa dlhodobo na úlohe validácie produktov pre detekciu zrážok a ich hydrologických aplikácií. V predkladanom článku približujeme odbornej verejnosti operatívne satelitné produkty pre detekciu zrážok, postup pri ich validácii a prípadovú štúdiu prezentujúcu využitie týchto produktov pri hodnotení dlhodobého chodu zrážkových úhrnov. Zrážkovými úhrnmi môžeme napríklad sledovať dlhodobé obdobia sucha s hodnotením zrážkových deficitov a prebytkov. Ambíciou tejto práce je ukázať možným budúcim užívateľom satelitných údajov, že satelitné produkty vyššej úrovne spracovania majú potenciál pre klimatologické štúdie. V krátkej budúcnosti sa očakáva významné zvýšenie tohto potenciálu vďaka príchodu novej generácie družíc MTG (Meteosat tretej generácie) a EPS-SG (Európsky polárny systém druhej generácie).

Key words: H SAF satellite products, radars, raingauges, validation

ÚVOD

EUMETSAT koordinuje vývoj 8 SAF-aplikácií (Satellite Application Facilities), ktorých cieľom je rozšíriť využívanie satelitných údajov v národných meteorologických a hydrologických službách členských krajín tejto medzinárodnej organizácie. Na podporu hydrológie a vodného manažmentu je zameraný H SAF (Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management).

HISTÓRIA EUMETSAT H SAF

Prvé aktivity vznikali už v období rokov 1997–1998 a to diskusiami v rámci EUMETSAT konferencií. Keď sa na koncom 90-tych rokov začali vyskytovať na území Poľska, Slovenska, Česka a Maďarska ničivé povodne, zástupcovia hydro-meteorologických služieb SHMÚ, OMSZ a IMGW stále intenzívnejšie diskutovali s EUMETSAT-om o možnosti vývoja aplikácií pre podporu operatívnej hydrológie. Keďže Slovensko, Poľsko a Maďarsko boli v tom čase iba kooperujúce štáty čakajúce na plné členstvo, EUMETSAT

prizval do diskusií ďalšie členské štáty, aby nové konzorcium mohlo byť vytvorené. Konzorcium inštitúcií z 10 členských štátov nakoniec vzniklo 1.9.2005 podpisom prvej dohody H SAF v Ríme. Taliansko s najširšími skúsenosťami v detekcii zrážok pomocou satelitov sa stalo koordinátorom H SAF. Vznikli 4 pracovné skupiny: skupina pre vývoj satelitných produktov detekcie zrážok na čele s Talianskom, skupina pre vývoj satelitných produktov detekcie pôdnej vlhkosti pod vedením Rakúska, skupina pre vývoj satelitných produktov detekcie snehovej pokrývky pod vedením Fínska a skupina pre všeobecnú a hydrologickú validáciu všetkých H SAF produktov. Treba poznamenať, že na žiadosť Turecka ako jedného zo zakladajúcich členov EUMETSAT-u (vznik 1986), získalo Turecko samostatnú úlohu riešiť detekciu snehu v hornatých oblastiach a tak Fínsku zostala úloha riešiť detekciu snehu v rovinatých územiach a v nížinách. Nakoniec sa do konzorcia pridala aj Európska organizácia pre strednodobú predpoveď (ECMWF) s úlohou asimilácie satelitných produktov do numerického predpovedného modelu s cieľom modelovania pôdnej vlhkosti. Zoskupenie riešiteľov H SAF

má v súčasnosti 17 členov a nachádza sa v poslednom roku tretej pokračujúcej fázy. V každej fáze účastníci uzatvárajú novú zmluvu o spolupráci s EUMETSAT-om, zastupovaným vedúcim členom konzorcia (ITAF – Meteorologická služba Talianska). Prvá vývojová fáza trvala od 1.9.2005 do 31.8.2010 (5 rokov), prvá pokračujúca vývojová a operatívna od 1.9.2010 do 29.2.2012 (2 a pol roka), druhá od 1.3.2012 do 28.2.2017, tretia od 1.3.2017 do 28.2.2022 (Kaňák et al, 2016). V súčasnosti je Radou EUMETSAT-u schválený návrh štvrtého pokračovania vývojovej a operatívnej fázy na obdobie 1.3.2022 až 28.2.2027. Treba poznamenať, že vývoj satelitných produktov je kontinuálny preto, že aj vývoj nových satelitov stále napreduje. Bude potrebné aktualizovať existujúce produkty pre nové satelity MTG a EPS-SG, a vyvíjať produkty na báze vylepšených detektorov a snímacích prístrojov, ktoré budú mať vyššie priestorové a časové rozlíšenie, viac spektrálnych kanálov. Budú teda poskytovať viac možností, ako objektívnejšie detegovať zrážky, snehovú pokrývku a pôdnu vlhkosť. V tomto článku ďalej budeme hovoriť iba o prvej skupine H SAF produktov pre detekciu zrážok.

POPIS ZÁKLADNÝCH OPERATÍVNYCH PRODUKTOV ZRÁŽOK H SAF

P-IN-SSMIS (H01 new release) – intenzita zrážok určená z mikrovlnných „conical“ meraní polárnych družíc

Ide o mapový produkt intenzity zrážok, odvodený z pasívnych mikrovlnných (ďalej len PMW) meraní kónickými skenermi SSMIS na cirkumpolárnych družiciach DMSP (tzv. „conical“ skener). Tieto družice snímajú zemský povrch v pásach so šírkou ~1700 km (Obr. 1, vpravo), pri-

čom snímanie prebieha po časti kužeľovej plochy s pozorovacím uhlom 45° (Obr. 1, vľavo), čo umožňuje konštantné priestorové rozlíšenie produktu (~13,2 x 15,5 km) v celom snímanom páse.

Algoritmus pre odvodnenie zrážok je založený na fyzikálnom bayesiánskom prístupe s využitím predpočítanej dynamicko-radiačnej databázy oblačnosti, ktorá je vytvorená z meteorologických situácií simulovaných modelom oblačnosti (cloud-resolving model - CRM) a modelom radiačného prenosu (radiative transfer model - RTM).

Produkt je aktualizovaný po každom prelete polárnej družice nad oblasťou, ohraničenou 60° J – 75° S z. š. a 60° Z – 60° V z. d., s maximálnym oneskorením 150 minút. Požiadavky na presnosť merania intenzity zrážok sú uvedené v Tab. 1.

Tabuľka 1. Požadovaná relatívna chyba merania (RMSE %) produktu P-IN-SSMIS.

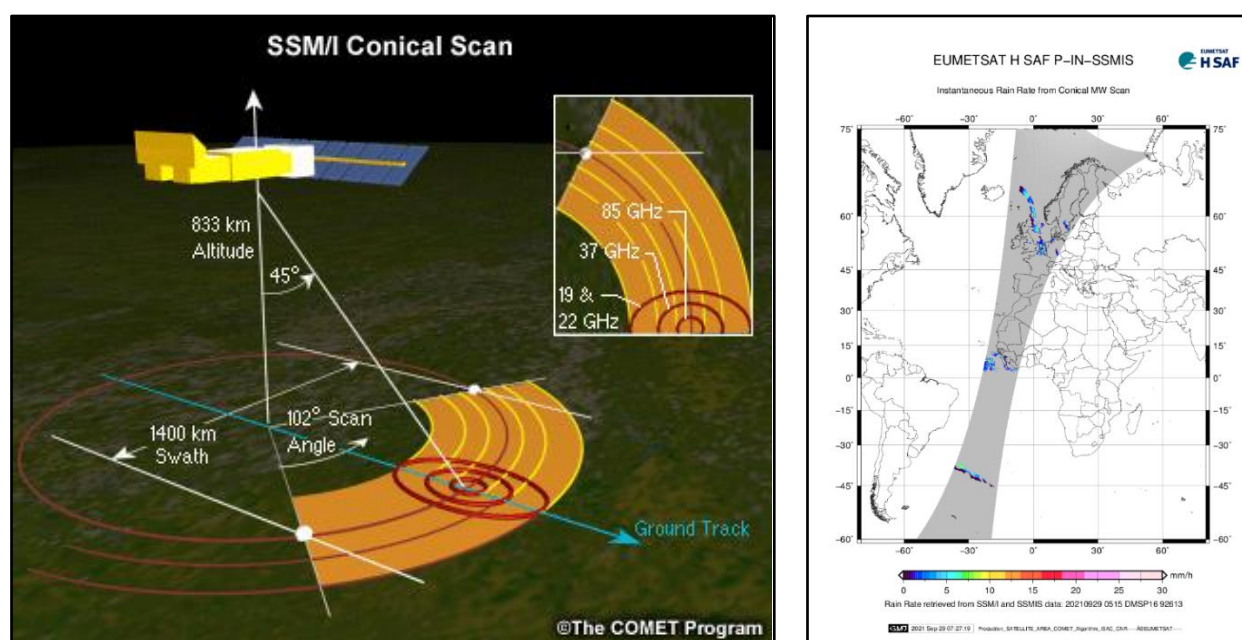
Table 1. Accuracy requirements for the P-IN-SSMIS product in RMSE %.

Intenzita zrážok	Prahová hodnota	Cieľová hodnota	Optimálna hodnota
≥ 10 mm/h	90	80	25
1 – 10 mm/h	120	105	50
<1 mm/h	240	145	50

Produkt je dostupný vo formátoch BUFR a NetCDF s hodnotami v gridových bodoch orbitálnej projekcie kanála SSMIS 91.7 GHz. Intenzity zrážok z tohto produktu sa z dôvodu vysokej presnosti využívajú aj na odvodenie ďalších produktov zrážok H SAF, napr. P-IN-SEVIRI. Podrobnejšie informácie o produkte sú uvedené v dokumentácii (ATBD-H01, EUMETSAT 2013).

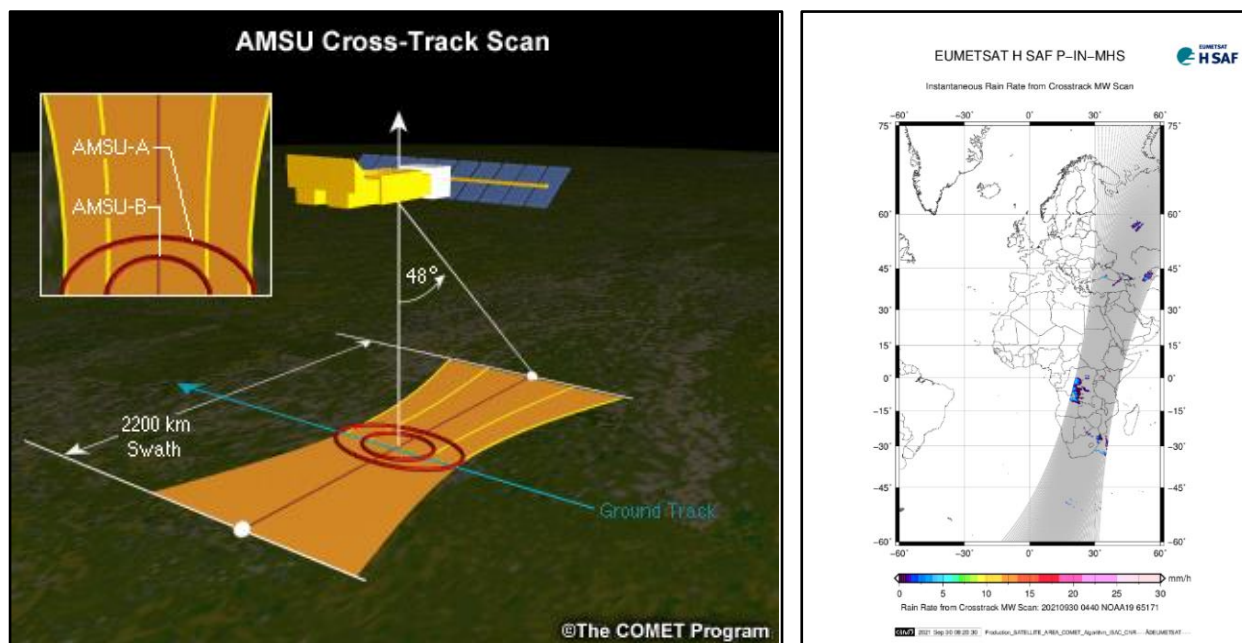
Obrázok 1. Vľavo: Geometria kónického skenovania rádiometrom SSMIS, zdroj <https://www.comet.ucar.edu/>. Vpravo: ukážka produktu P-IN-SSMIS.

Figure 1. Left: Geometry of conical scanning for SSMIS, source <https://www.comet.ucar.edu/>. Right: example of the P-IN-SSMIS product.



Obrázok 2. *Vľavo: Geometria skenovania kolmo na smer letu, tzv. „cross-track“ skenerom rádiometra AMSU-A. Vpravo: ukážka produktu P-IN-MHS.*

Figure 2. *Left: Viewing geometry of cross-track scanning radiometer AMSU-A. Right: example of the P-IN-MHS product.*



P-IN-MHS (H02B) – intenzita zrážok určená z mikrovlnných „cross-track“ meraní polárnych družíc

Podobne ako pri P-IN-SSMIS, ide o mapový produkt intenzity zrážok, odvodený z PMW meraní, v tomto prípade však zo skenerov typu „cross-track“ AMSU-A a MHS na cirkumpolárnych družiciach Metop a NOAA. Tieto skenery snímajú zemský povrch v pásoch so šírkou až ~2250 km (Obr. 2, vpravo). Snímanie prebieha kolmo na smer letu družice (Obr. 2, vľavo) a preto priestorové rozlíšenie produktu závisí od pozorovacieho uhla: mení sa od 16 x 16 km v sub-satelitnom bode do 26 x 52 km na kraji skenovaného pásu.

Algoritmus pre odvodenie zrážok je založený na neurónových sieťach, trénovaných pomocou predpočítanej databázy radiancií oblačnosti, ktorá je vytvorená z meteorologických situácií simulovaných pomocou CRM a RTM modelov (Sanò et al., 2015).

Rovnako ako v prípade produktu P-IN-SSMIS, je aj tento produkt aktualizovaný po každom prelete polárnej družice nad tou istou oblasťou, max. časové oneskorenie je však len 30 minút od času pozorovania. Požiadavky na presnosť merania sú rovnaké ako pre produkt P-IN-SSMIS (Tab. 1).

Produkt je dostupný vo formátoch BUFR a NetCDF s hodnotami v gridových bodoch orbitálnej projekcie prístroja MHS. Intenzity zrážok z tohto produktu sa z dôvodu vysokej presnosti využívajú na odvodenie ďalších produktov zrážok H SAF, napr. P-IN-SEVIRI. Podrobnejšie informácie o produkte sú uvedené v dokumentácii (ATBD-H02B, EUMETSAT 2019).

P-IN-SEVIRI (H03B) – intenzita zrážok určená kombináciou mikrovlnných a IR meraní

Výhodou družicových PMW meraní je vysoká presnosť detekcie zrážok, ktorá je len málo ovplyvnená pokrytím oblačnosťou. Tieto merania majú však nízke priestorové rozlíšenie (až niekoľko desiatok km) a sú dostupné len z preletov polárnych družíc s mikrovlnnými skenermi, takže nie sú príliš vhodné na operatívne využitie v hydrológii. Z tohto dôvodu bol v rámci H SAF vyvinutý produkt P-IN-SEVIRI, ktorý v sebe kombinuje vysokú presnosť PMW meraní s pravidelným a hustým časovým krokom pozorovaní, ktoré poskytujú geostacionárne družice. Ide o mapový produkt intenzity zrážok, odvodený z IR snímok kanála 10,8 μm z geostacionárnych družíc Meteosat, kalibrovaných meraniami zrážok z PMW senzorov na cirkumpolárnych družiciach (vstupom sú produkty P-IN-SSMIS a P-IN-MHS). Produkt je aktualizovaný každých 15 minút a je dostupný do 5 minút od ukončenia skenovacieho cyklu imagera SEVIRI. Kalibračné vyhľadávacie tabuľky (LUT), určené na prepočet jasovej teploty z IR kanála na intenzitu zrážok sú aktualizované po každom prelete družice vybavenej mikrovlnným rádiometrom.

Tento produkt je odvodený z jeho predchodcu H03A, ktorý pokrýva iba európsku oblasť. Doména H03B je rozšírená o Afriku a južný Atlantik v rozsahu: 60° J – 67,5° S z.š., 80° Z – 80° V z.d., čo sa dosiahlo spracovaním MSG meraní z celého zemského disku, ktorý družica štandardne sníma. Priestorové rozlíšenie produktu sa mení v závislosti od pozorovacieho uhla geostacionárnej družice: 3 km v sub-

satelitnom bode a okolo 6 km nad Slovenskom. Relatívna chyba merania intenzity zrážok (RMSE %) je 40–80 % pre intenzity ≥ 10 mm/h a 80–160 % pre 1–10 mm/h. Produkt je dostupný vo formáte GRIB-2 s hodnotami v gridových bodoch projekcie družice Meteosat. Podrobnejšie informácie o produkte sú uvedené v dokumentácii (ATBD-H03B, EUMETSAT 2017).

P-AC-SEVIRI (H05B) – kumulované zrážky získané z časového radu produktu H03B

Ide o mapový produkt kumulovaných zrážok, odvodený zlúčením PWM meraní z cirkumpolárnych družíc s IR snímkami z geostacionárnych družíc, konkrétne, časovým integrovaním produktu P-IN-SEVIRI. Za účelom zníženia systematickej chyby (biasu) sú získané úhrny zrážok z družice ešte korigované pomocou dát zo zrážkomerov. Produkt poskytuje kumulované zrážky za 3, 6, 12 a 24 hodín, ktoré sú aktualizované každé 3 hodiny v časoch 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 a 21 UTC a dostupné pre užívateľov do 15 minút od príslušného termínu.

Produkt má rovnaké priestorové rozlíšenie a región s produktom P-IN-SEVIRI (Obr. 3). Dáta sú dostupné vo formáte GRIB-2 s hodnotami v gridových bodoch projekcie družice Meteosat. Podrobnejšie informácie o produkte sú uvedené v dokumentácii (ATBD-H05B, EUMETSAT 2017).

Distribúcia operatívnych produktov zrážok H SAF je zabezpečená buď vyhradenými prenosovými linkami do centier GTS, cez FTP server H SAF (po zaregistrovaní sa na web stránke H SAF a vytvorení prístupu) alebo, pre väčšinu ostatných používateľov (najmä, ale nie len, vedeckých), cez družicový distribučný systém EUMETCast.

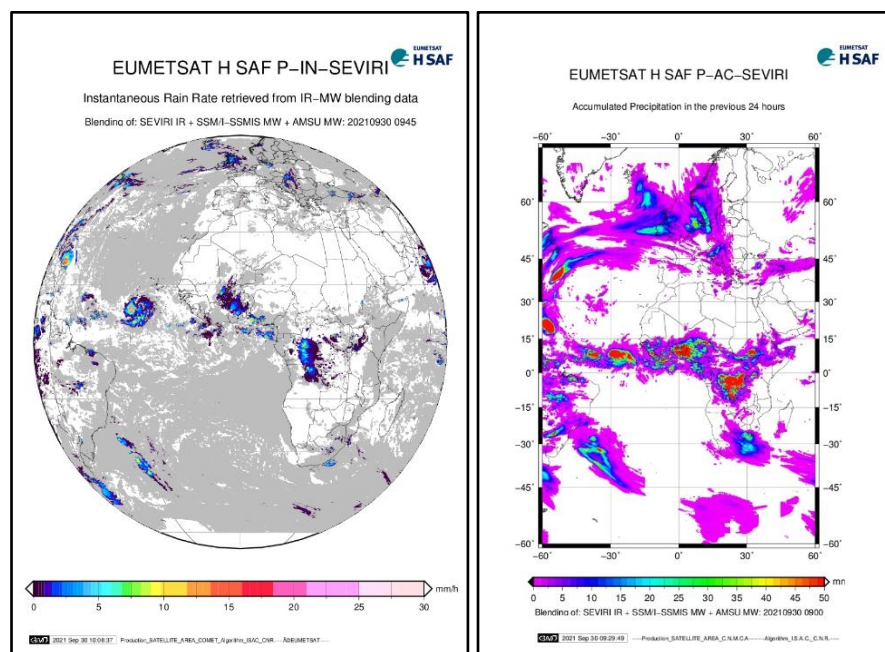
VALIDAČNÁ METODOLÓGIA, VZNIK VALIDAČNÉHO SOFTVÉRU

Validačná úloha v H SAF bola ustanovená v prvej fáze riešenia aplikácií. Dôvodom bola skutočnosť, že už počas prípravných diskusií bolo otáznе, do akej miery vtedy existujúce satelitné produkty spĺňajú požiadavky užívateľov na presnosť detekcie zrážok. Keďže satelitné produkty poskytujú plošné údaje nad rozsiahlymi územiami, do validačného programu boli vybrané viaceré krajiny: Belgicko, Nemecko, Poľsko, Slovensko, Maďarsko, Taliansko a Turecko. V prvej vývojovej fáze najprv vývojové tímy pripravili prvé verzie produktov. Validačná skupina začala pripravovať metodiku validácie a uskutočnili sa prvé validačné pokusy do roku 2008. V rámci metodiky boli definované požiadavky užívateľov na presnosť detekcie intenzity zrážok, aj presnosť kumulovaných zrážkových úhrnov. Tak základnou úlohou pri validácii je hodnotiť, či produkty svojou presnosťou spĺňajú požiadavky užívateľov. Neskôr, v druhej pokračovacej fáze, od roku 2010, pristúpilo k spolupráci aj Bulharsko a tiež bolo začlenené do validačného programu. Základnou otázkou bolo, aký referenčný zdroj údajov bude pre validáciu zrážok použitý. Vznikli dve podskupiny, jedna začala vyvíjať validačné postupy na báze zrážkomerných sietí, s použitím interpolačných metód z bodových informácií do pravidelnej mriežky. Druhá skupina sa rozhodla pre použitie rádiolokačných meraní, o ktorých sa predpokladalo už v roku 2005, že dokážu lepšie reprezentovať plošné rozloženie zrážok ako údaje zo zrážkomerov. V prvopočiatoch každý účastník validačného programu využíval vlastné vedomosti, softvérové nástroje a vyvíjal vlastnú metodiku pre porovnávanie zrážok určených satelitom voči pozemným pozorovaniam (označovaných ako „ground truth“).

Vymieňali sme si iba pomocné programy, napríklad Belgicko poskytlo program na čítanie formátu BUFR, v ktorom boli kódované produkty H01 a H02 (zrážky určené z mikrovlnných senzorov polárnych družíc). Taliansko poskytlo program pre čítanie formátu GRIB, v ktorom bol kódovaný produkt H03 (Meteosat IR snímky kalibrované pomocou dát H01 a H02), produkt H04 (zrážkové pole z produktov H01, H02 je v čase trasované pomocou pohybu oblačnosti získaného z IR snímkov družice Meteosat) a produkt H05 (úhrn zrážok získaný integráciou pravidelných 15-minútových intenzít zrážok z produktu H03). Druhým krokom vo validačnom procese je geografické priradovanie dvojíc (satelit, zrážkomer) alebo (satelit, radar). Začínali sme veľmi jednoducho priradovaním najbližších pixe-

Obrázok 3. Ukážka produktu P-IN-SEVIRI (vľavo) a P-AC-SEVIRI (vpravo).

Figure 3. Example of the P-IN-SEVIRI (left) and P-AC-SEVIRI (right) product.



lov, čoskoro sme však pochopili potrebu dosiahnutia fyzikálnej konzistencie porovnávaných údajov z hľadiska priestorového a časového rozlíšenia rôznych meracích zariadení. Preto sme zaviedli váhovanie pri sumovaní radarových údajov s vyšším rozlíšením do satelitných pixelov, pričom váha sa menila podľa Gaussovho rozdelenia intenzity satelitného signálu v pixeli (tzv. FOV = Field of View).

VALIDAČNÝ SOFTVÉR UCC

UCC (Unified Common Code) vznikol postupne v druhej a tretej pokračovacej fáze H SAF. Jadrom softvéru sa stali programy vytvorené na SHMÚ. Riadiaci skript je napísaný v skriptovacom jazyku C-shell a programy spracúvajúce dáta v jazyku C. Okrem týchto programov sú súčasťou balíka aj pomocné súbory, napríklad súbory obsahujúce zemepisné súradnice pixelov satelitných produktov a radarových máp jednotlivých členov validačného tímu. Na SHMÚ sme dbali najmä na efektívnosť softvéru z hľadiska rýchlosti spracovania, keďže validácia sa vykonáva v rámci „validačnej kampane“ raz do roka. Potrebné je hromadne v krátkom čase spracovať obrovské objemy satelitných aj radarových údajov. Zaviedli sme preto v softvéri UCC využívanie zdieľanej pamäte, cez ktorú si jednotlivé programy odovzdávajú údaje na spracovanie. V zdieľanej pamäti sa nachádzajú aj podporné dáta zemepisných súradníc alebo tzv. look-up-tables, tabuľky pre rýchlu reprojekciu radarových dát do satelitných pixelov. Časovo náročné zostávajú najmä procedúry spracovania dát z polárnych družíc, ktorých georeferencia závisí od parametrov dráhy satelitu. Po priradení satelitných a pozemných údajov za zvolené obdobie (jeden mesiac) nasleduje výpočet štatistiky, ktorý opíšeme v nasledujúcich častiach tohto článku. Tu iba dodáme, že štatistické vyhodnotenie sa robí buď centrálne v Taliansku po dodaní spárovaných údajov v jednotlivých krajinách, alebo si ju môže každý spustiť samostatne, a to aj opakovane s možnou zmenou parametrov. Zaujímame sa napríklad, ako sa menia výsledky v závislosti od hraničnej hodnoty indexov kvality satelitných alebo pozemných údajov (Rinollo et al, 2013). Softvér UCC je konfigurovateľný pre všetky dostupné produkty zrážok jednoduchým spôsobom – editovaním konfiguračných súborov. Riadiaci skript je následne spúšťaný pomocou zvolenej konfigurácie.

POSTUP PRI VALIDÁCII PRODUKTOV

Validačný softvér UCC vyvinutý Skupinou PPVG (Precipitation Product Validation Group) počas fáz CDOP2 (Continuous Development and Operations Phase) a CDOP3 H SAF bol použitý pri validácii satelitných údajov pomocou rádiolokačných meraní zrážok, považovaných v tomto procese za referenčné údaje.

Výber satelitných pixelov spadajúcich do záujmovej oblasti: Aby sme pri validačnom procese zabránili časovo náročným výpočtovým operáciám, každá krajina obmedzuje validáciu pre konkrétnu oblasť záujmu (zvyčajne oblasť

pokrytú rádiolokačnými údajmi krajiny), ktorá je implicitne definovaná v spoločnom validačnom algoritme.

UCC zohľadňuje index kvality pre každý radarový pixel. Tieto informácie o kvalite boli prvýkrát použité pre účely validácie v CDOP2 (Kaňák et al, 2018).

Výber rádiolokačných údajov časovo zhodných so satelitnými pozorovaniami: Validácia procedúra vyberie termín rádiolokačného merania, ktorý je časovo najbližší buď pred alebo po termíne satelitného merania. Veľkosť časového rozdielu môže užívateľ nastaviť v konfigurácii. Validácia sa vykonáva po mesiacoch, preto sa vyberajú vždy iba údaje z rovnakého mesiaca tak pre satelitné ako aj pre radarové merania (resp. žiadne satelitné meranie nemožno validovať pomocou radarového merania nasledujúceho alebo predchádzajúceho mesiaca, aj keby bolo časovo bližšie), pretože validácia sa robí na mesačnej báze. Keď je časový rozdiel medzi satelitným a najbližším radarovým meraním väčší ako predvolená hodnota (napr. 20 minút), validačný proces sa neuskutoční.

Premapovanie radarových údajov do rozlíšenia natívneho satelitného gridu: Premapovanie radarových údajov predpokladá, že rozlíšenie radarových dát je vyššie ako rozlíšenie satelitného gridu. Radarové pixely, ktoré ležia vo vnútri satelitného pixelu, sú priradené k tomuto pixelu a satelitné meranie je validované voči váženému priemeru radarových pixelov. Na okrajoch radarového horizontu, kde je pokrytá radarovými pixelmi iba časť satelitného IFOV, sa porovnávanie a teda validácia satelitných údajov nevykonáva.

Výpočet zodpovedajúcich hodnôt zrážok zo satelitu a radaru: Pre každý jeden satelitný súbor reprojekčnou funkciou vypočítavame tabuľku adries (tzv. Look-Up-Table) priradenia radarových pixelov každému satelitnému pixelu a určíme priemerný úhm zrážok vypočítaný z hodnôt radarových pixelov patriacich k satelitnému pixelu podľa uvedenej tabuľky. Doterajšie skúsenosti ukázali, že metóda priemerovania nemá zásadný vplyv na výsledky štatistických skóre v prípadoch niektorých produktov. Preto sme zaviedli váhované priemerovanie podľa rozdelenia intenzity satelitného signálu a podľa typu produktu. Používame buď jednoduchý aritmetický alebo váhovaný priemer podľa Gaussovho rozdelenia. Indikátor označujúci, či sa satelitný pixel nachádza na pobreží, na súši alebo na mori, je priradený ku každému páru údajov satelit – radar.

Reprojekčná funkcia je závislá od typu satelitného produktu. Pre produkty na báze polárnych družíc sa georeferencia pre každý pixel musí počítať tesne pred validáciou, pretože je dynamická, závisí od času preletu družice a parametrov jej dráhy. Pre produkty na báze geostacionárnych družíc stačí georeferenciu predpočítať na začiatku hromadného spracovania dát za dlhé obdobie (mesiac alebo rok) a potom priradovať radarové pixely k satelitným pomocou jednoduchého indexovania pixelov. Okrem vzájomného priradovania hodnôt intenzít zrážok zo satelitných a rádiolokačných meraní v špeciálnych prípadoch potrebujeme priradovať aj iné parametre: index kvality, fázu zrážok, umiestnenie pixelu (súš, pobrežie, more). Príkladom je porovnávanie satelitných dát GPM-DPR (Global Precipitation Mission-Dual Polarisation Radar) a H SAF H02

(Instantaneous precipitation maps from PMW acquisitions by cross-track scanners on operational LEO satellites) (Petracca et al, 2018). Tu sme práve my z SHMÚ zaviedli rozdielny prístup k prepočítavaniu zhlukovaných dát do jedného pixela (Kaňák et al, 2020). V prípade kontinuálnych parametrov volíme váhovaný priemer (napríklad intenzita zrážok, index kvality), v prípade diskretných (napríklad fáza zrážok, lokalizácia nad súšou, pobrežím, morom) volíme medián, čiže najčastejšie sa vyskytujúcu hodnotu v zhluku pixelov (Petracca et al, 2019), (Sebastianelli, 2018).

Pre štatistické skóre vyhodnocované v PPVG v rámci kontinuálnej štatistiky sme na SHMÚ napísali softvérové moduly, ktoré sú súčasťou UCC. Boli navrhnuté v rámci spoločnej prípravy validačnej metodiky pod vedením DPC (Department of Civil Protection) v Ríme (Puca et al, 2014) a sú to tieto parametre:

Mean Error (ME)

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (sat_k - true_k)$$

Platný rozsah: $-\infty$ to ∞ . Perfektné skóre: 0.

Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |sat_k - true_k|$$

Platný rozsah: $-\infty$ to ∞ . Perfektné skóre: 0.

Standard Deviation (SD)

$$SD = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (sat_k - true_k - ME)$$

Platný rozsah: $-\infty$ to ∞ . Perfektné skóre: 0.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (sat_k - true_k - ME)^2}$$

Platný rozsah: 0 to ∞ . Perfektné skóre: 0.

Multiplicative Bias (MBias)

$$MB = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N sat_k}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N true_k}$$

Platný rozsah: $-\infty$ to ∞ . Perfektné skóre: 1.

Correlation Coefficient (CC)

$$CC = \frac{\sum_{k=1}^N (sat_k - \overline{sat})(true_k - \overline{true})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (sat_k - \overline{sat})^2 \sum_{k=1}^N (true_k - \overline{true})^2}}$$

$$\text{kde } \overline{sat} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N sat_k \quad \overline{true} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N true_k$$

Platný rozsah: -1 to 1. Perfektné skóre: 1.

Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (sat_k - true_k)^2}$$

Platný rozsah: 0 to ∞ . Perfektné skóre: 0.

Root Mean Square Error percent (RMSE %)

$$PR-RMSE = RMSE * 100[\%]$$

Platný rozsah: 0 to ∞ . Perfektné skóre: 0.

Štatistické skóre sú vyhodnocované v PPVG aj v rámci multi-kategorickej štatistiky a pripravované podľa Tab. 2, v ktorej význam jednotlivých položiek je nasledovný:

- **hit**: údaj pozorovaný súčasne satelitom aj radarom,
- **miss**: údaj nie je pozorovaný satelitom, ale je pozorovaný radarom,
- **false alarm**: údaj je pozorovaný satelitom, ale nie je pozorovaný radarom,
- **correct negative**: údaj nie je pozorovaný ani satelitom, ani radarom.

Skóre počítame podľa štandardných vzorcov:

$$POD = \frac{hits}{hits+misses} = \frac{hits}{observed\ yes}$$

Platný rozsah: 0 to 1. Perfektné skóre: 1.

$$FAR = \frac{false\ alarms}{hits+false\ alarms} = \frac{false\ alarms}{forecast\ yes}$$

Platný rozsah: 0 to 1. Perfektné skóre: 0.

$$CSI = \frac{hits}{hits+misses+false\ alarms}$$

Platný rozsah: 0 to 1. Perfektné skóre: 1.

Tabuľka 2. Kontingenčná tabuľka pre štatistické skóre aplikované v PPVG.

Table 2. Contingency table for statistical scores applied in PPVG.

		Meranie radarovej siete		
		áno	nie	súčet
Satelitné meranie	áno	hits	false alarms	forecast yes
	nie	misses	correct negatives	forecast no
	súčet	observed yes	observed no	súčet

VÝSLEDKY VALIDÁCIE - PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE A ŠTATISTIKY

Každý člen konzorcia H SAF, ktorý sa zúčastňuje úloh validácie H SAF produktov zrážok, okrem pravidelnej štatistickej validácie produktov robenej po mesiacoch už viac ako 15 rokov, pripravuje aj prípadové štúdie založené na skúsenostiach a poznatkoch špecifických pre každého partnera. Prípadové štúdie sa robia na vybraných reprezentatívnych meteorologických situáciách a výsledky sa sústreďujú centrálné manažmentom H- SAF a EUMETSAT SAF-network manažmentom.

Prípadové štúdie SHMÚ sú zamerané najmä na zrážkové situácie spojené so silnou konvekciou, alebo na dlhotrvajúce zrážky vypadávajúce z vrstevnatej oblačnosti. V prvom prípade hodnotíme presnosť lokalizácie zrážok a ich maximálnu intenzitu. V druhom prípade porovnávame akumulované zrážky v čase, ich maximálny dosiahnutý úhrn a hodnotíme, či sú úhrny satelitným produktom podhodnotené alebo nadhodnotené. Prípadové štúdie sú dostupné na oficiálnej webovej stránke H SAF – <https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy>.

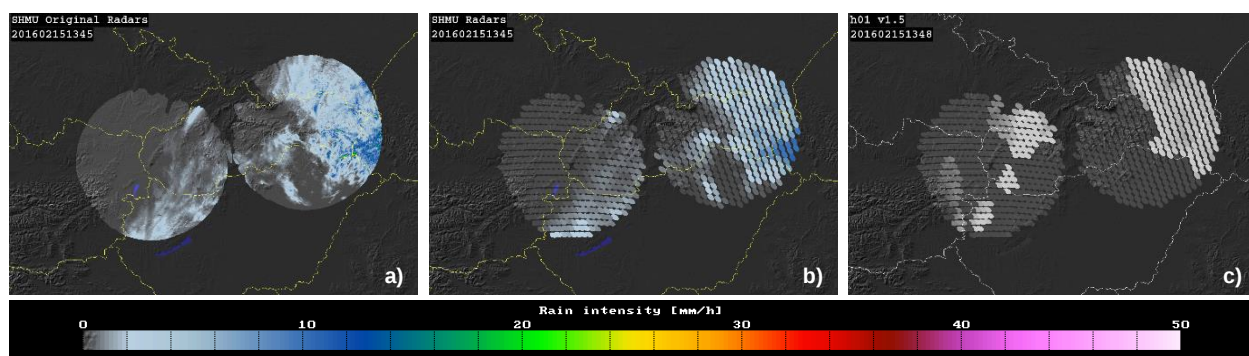
Tabuľka 3. Zoznam vybraných prípadových štúdií.

Table 3. List of selected case studies.

Produkt	Termín	Popis
P-AC-SM2RAIN (H64) P-IN-PMW (H68) P-DM-PMW-IC (H67)	2.9.2019 00 UTC – 4.9.2019 00 UTC	Prechod výrazného zvlneného studeného frontu cez Slovensko
P-AC-SEVIRI-PMW (H61B Full disk)	26.9.2020 00 – 24 UTC	Prerušenie obdobia sucha na území Slovenska
P-IN-SEVIRI-PMW (H60B Full disk) P-AC-SEVIRI-PMW (H61B Full disk)	12.7.2020 00 – 24 UTC	Búrky na čiare instability prechádzajúcej územím Slovenska
PR-OBS-6A (H15A) PR-OBS-3B v1.0 (H03B Full disk product) PR-OBS-5B v1.2 (H05B) 3h, 24h PR-OBS-2B v2.3 (H02B) PR-OBS-1 v1.5 new rel. (H01 new rel.)	15.8.2015 21 UTC – 16.8.2015 18 UTC	Búrky na čiare instability prechádzajúcej územím Slovenska
PR-OBS-6A (H15A)	14.6.2015 10 –12 UTC	Supercelárna búrka na východnom Slovensku s výskytom veľkých krúp
PR-OBS-5B v1.2 (H05B) 3h, 24h PR-OBS-3B v1.0 (H03A H SAF European domain product) PR-OBS-3B v1.0 (H03B Full disk product) PR-OBS-2B v2.3 (H02B) PR-OBS-1 v1.5 new rel. (H01 new rel.)	14.2.2016 14 UTC – 16.2.2016 00 UTC	Zrážky z vrstevnatej oblačnosti na pomaly sa presúvajúcom studenom fronte spôsobujúce prudký rast vodných hladín na riekach
PR-OBS-5 v1.2	23.12.2009 00:00-12:00 UTC	Zrážky z vrstevnatej oblačnosti teplého frontu s topením snehu a rastom vodných hladín riek
PR-OBS-5 v1.2	18.7.2009 09:00-21:00 UTC	Konvektívne zrážky na zvlnenom studenom fronte
PR-OBS-4 v1.1 PR-OBS-3 v1.4	23.12.2009 06:57 UTC	Zrážky z vrstevnatej oblačnosti teplého frontu s topením snehu a rastom vodných hladín riek
PR-OBS-4 v1.1 PR-OBS-3 v1.4	4.8.2009 19:30 UTC 4.8.2009 19:27 UTC	Konvektívne zrážky indukované výškovou brázdou nízkeho tlaku
PR-OBS-3 v1.4c PR-OBS-2 v2.3 PR-OBS-1 v1.5	7.6.2011 11:00-16:00 UTC 7.6.2011 11:00-19:00 UTC	Početné prehánky a búrky v teplej a vlhkej vzduchovej hmote
PR-OBS-3 v1.4c	28.11.2010 17:00-22:00 UTC	Intenzívne snehové zrážky na teplom fronte
PR-OBS-03v1.2	11.4.2009	Konvektívne zrážky indukované výškovou tlakovou nížou
PR-OBS-03v1.2	29.3.2009	Izolované zrážky s premenlivými mikrofyzikálnymi charakteristikami
H01 H02	15.8.2010 07:04, 15:00 UTC 15.8.2010 12:07, 12:08 UTC	Prechod studeného frontu cez Slovensko
PR-OBS-02v1.1	7.-8.9.2007	Dlhotrvajúce zrážky prevažne z vrstevnatej oblačnosti

Obrázok 4. a) Originálne zobrazenie radarových údajov v 1 km gride, 14.2.2016 13:45 UTC. b) Radarové údaje prepočítané do satelitných pixelov (FOV) produktu H01, 14.2.2016 13:45 UTC. c) Satelitné údaje získané z družice DMSP17, 14.2.2016 13:48 UTC, oneskorenie 3 minúty oproti radarovému meraniu. Dolu: Legenda intenzity zrážok v mm/h.

Figure 4. a) Original projection of radar data in 1km grid, 14.2.2016 13:45 UTC. b) Radar data upscaled into satellite pixels (FOVs) of H01 product, 14.2.2016 13:45 UTC. c) Satellite data obtained from DMSP17 satellite, date 14.2.2016 13:48 UTC, 3 minutes time difference against radar measurement. Below: Color legend for instantaneous precipitation in mm/h.



Príklad výsledkov prepočítavania (premapovanie, resp. upscaling) rádiolokačných meraní z rozlíšenia 1 km do natívnych satelitného pixelov produktu H01 uvádzame na Obr. 4. Časový posun medzi radarovým a satelitným meraním v tomto prípade sú 3 minúty, čo je veľmi dobrá zhoda. Porovnávanie hodnôt dvojíc pixelov radar-satelit bolo limitované pre radarový index kvality QI > 0.2. Podob-

ný príklad pre produkt H02 uvádzame na Obr. 5. Rozdiel je nielen v rozlíšení senzorov SSMI a AMSU, ale najmä v tvare pixelov, resp. stôp senzora na zemskom povrchu, tzv. FOV (Field of View). Kým v prvom prípade je plocha FOV konštantná a mení sa azimut elipsy voči smeru dráhy družice, v druhom prípade sa mení tak rozlíšenie, ako aj pomer veľkej a malej polosi FOV v závislosti na vychýlení

detektora od sub-satelitného bodu. Obidva efekty sme v softvéri UCC naprogramovali tak, aby bolo možné korektné váhovanie radarových pixelov do FOV podľa Gaussovho rozdelenia intenzity signálu, vchádzajúceho do satelitného detektora. Porovnávanie hodnôt dvojíc pixelov radar-satelit bolo aj v tomto prípade limitované pre radarový index kvality $QI > 0.2$.

Ukážka výsledku prepočítavania rádiolokačných meraní z rozlíšenia 1 km do natívneho satelitného pixelu produktu H61B, 24-hodinové úhrny zrážok, je na Obr. 6. Časový posun medzi radarovým a satelitným meraním je v tomto prípade nulový. Porovnávanie hodnôt dvojíc pixelov radar-satelit bolo limitované pre radarový index kvality $QI > 0.3$.

Tabuľka 4. Štatistické skóre kontinuálnej štatistiky pre prípad 15. 2. 2016.

Table 4. Statistical scores for continual statistics in the case 15. 2. 2016.

Intenzita zrážok [mm/h]	0,25–1	1–10	≥ 10	≥ 0,25
Počet satelitných pozorovaní	284	162	0	446
Počet radarových pozorovaní	106	205	3	314
Mean error [mm/h]	0,417	-1,185	-7,259	-0,702
Multiplicative bias	1,702	0,594	0,289	0,681
Correlation coefficient	0,078	0,528	-0,673	0,510
URD-RMSE (%)	229,7	68,8	71,2	144,7
Fractional Standard Error (%)	189,3	70,6	71,3	87,4
Nash-Sutcliffe Coefficient	-26,58	-0,20	-1300,33	0,104

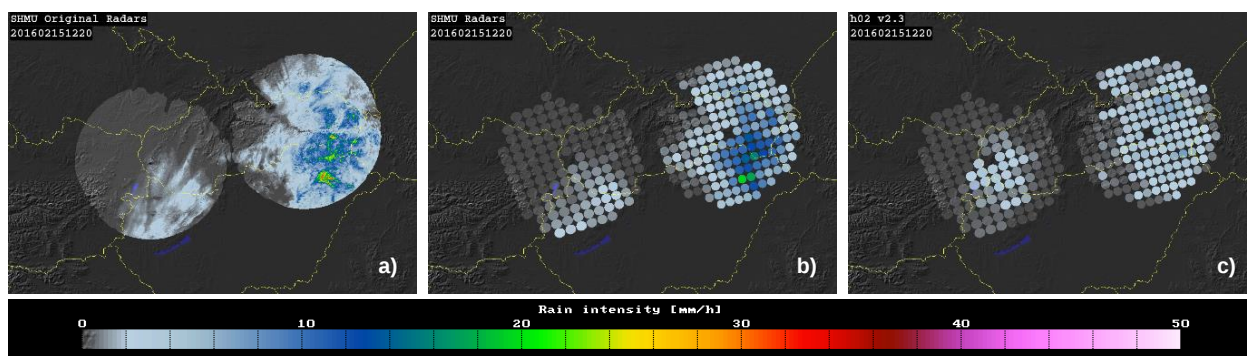
Tabuľka 5. Štatistické skóre multi-kategorickej štatistiky pre prípad 15. 2. 2016.

Table 5. Statistical scores for multi-categorical statistics in the case 15. 2. 2016.

Intenzita zrážok (mm/h)	≥ 0,25	≥ 1
POD	1,000	0,563
FAR	0,296	0,278
CSI	0,704	0,462

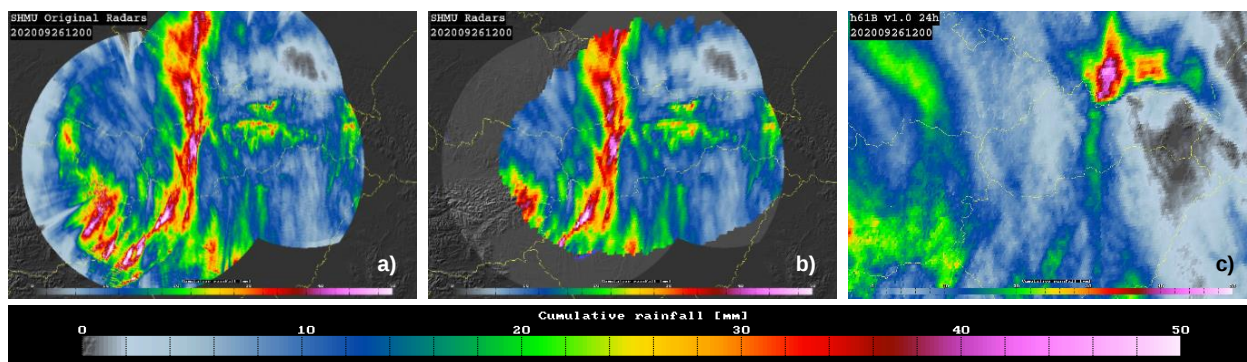
Obrázok 5. a) Originálne zobrazenie radarových údajov v 1 km gride, 15.2.2016 12:20 UTC. b) Radarové údaje prepočítané do satelitných pixelov (FOV) produktu H02B, 15.2.2016 12:20 UTC. c) Satelitné údaje získané z družice METOP-A, 15. 2. 2016 12:20 UTC, v časovej zhode s radarovým meraním. Dolu: Legenda intenzity zrážok v mm/h.

Figure 5. a) Original projection of radar data in 1km grid, 15. 2. 2016 12:20 UTC. b) Radar data upscaled into satellite pixels (FOVs) of H02B product, 15. 2. 2016 12:20 UTC. c) Satellite data obtained from METOP-A satellite, date 15. 2. 2016 12:20 UTC, 0 minutes time difference against radar measurement. Below: Color legend for instantaneous precipitation in mm/h.



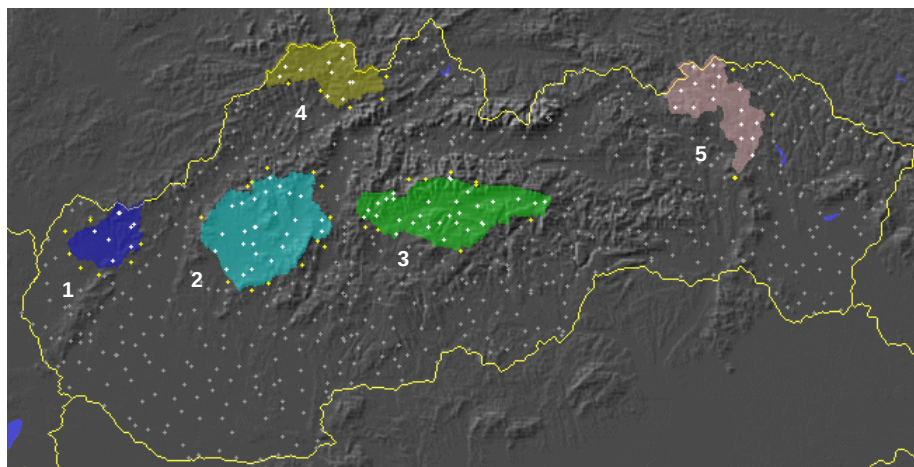
Obrázok 6. a) Originálne zobrazenie radarových údajov kumulovaných zrážok za 24 hodín v 1 km gride, k termínu 26. 9. 2020 12:00 UTC. b) Radarové údaje pre porovnanie so satelitnými sú v tomto prípade bez zmeny projekcie, iba orezané indexom kvality. c) Satelitné údaje získané integrovaním 15-minútových MSG meraní intenzít zrážok, 26. 9. 2021 12:00 UTC, sú interpolované do 1 km radarového gridu. Dolu: Legenda úhrnu zrážok za 24 hodín v mm.

Figure 6. a) Original display accumulated precipitation in 24 hours in 1km grid derived from radar measurements, as of 26.9.2020 12:00 UTC. b) Radar data for comparison with satellite are in this case without change of projection, only thresholded by quality index. c) Satellite data obtained by integrating 15-minute MSG measurements of precipitation intensities for last 24 hours are interpolated into a 1km radar grid. Bottom: Legend of the total precipitation in 24 hours in mm.



Obrázok 7. Testovacie povodia na území Slovenska určené pre validáciu H SAF produktov: 1 - Myjava, 2 - Nitra, 3 - Hron, 4 - Kysuca, 5 - Topľa. Biele body: SHMÚ zrážkomery v testovacích povodiach, žlté body: zrážkomery v tesnom okolí povodí, sivé body: ostatné zrážkomery SHMÚ.

Figure 7.
Test basins in Slovakia intended for validation of H SAF products: 1 - Myjava, 2 - Nitra, 3 - Hron, 4 - Kysuca, 5 - Topľa. White points: SHMÚ rain gauges in test river basins, yellow points: rain gauges in the immediate vicinity of the river basin, gray points: other SHMÚ rain gauges.



Cieľom prípadových štúdií je hodnotiť funkčnosť produktov v rôznych meteorologických situáciách. Hodnotíme, či sú zrážky prostredníctvom satelitných pozorovaní detegované správne, či vystihujú intenzitu zrážok v rôznych kategóriách, najmä či nadhodnocujú slabé zrážky alebo podhodnocujú silné zrážky, aká je pravdepodobnosť detekcie. Častým nedostatkom satelitných údajov o zrážkach je nadhodnocovanie plošného rozsahu zrážkového poľa a podhodnocovanie maximálnej intenzity zrážok. Vyplýva to z vlastností IR-snímkov, ktoré, i keď sú kalibrované mikrovlnnými meraniami, zamieňajú tenký cirrus nákovy búrkových oblakov za zrážkovú oblačnosť. Podhodnocovanie intenzity zrážok oproti radaru je najčastejšie spojené s rozlíšením. Kým dáta z pozemných radarov majú rozlíšenie 1 km, rozlíšenie mikrovlnných meraní zo satelitu je medzi 12 až 45 km.

ŠTÚDIA VÝSKYTU SUCHA V ROKU 2020 S VYUŽITÍM SATELITNÉHO PRODUKTU H05B

V tejto štúdii sme porovnávali satelitné údaje denných zrážkových úhrnov pre 5 vybraných povodí na území Slovenska (Myjava, Nitra, Hron, Kysuca a Topľa) voči priemerným zrážkam určeným z dostupných zrážkomerných staníc v týchto povodiach (Obr. 7).

Zrážkomerné stanice

Po získaní údajov o zrážkach z databázy SHMÚ (24-hodinové úhrny) sme v prvom kroku skontrolovali dostupnosť údajov. Vybrali sme iba stanice v testovacom povodí, ktoré merali kontinuálne od 1. 1. 2012 do 31. 1. 2020. Dôvodom je skutočnosť, že satelitné údaje produktu H05 sú k dispozícii iba za toto obdobie. Pred rokom 2012 bola používaná staršia verzia algoritmu a homogenita časového radu by nebola zaručená. Po odfiltrovaní staníc s nesúvislým časovým radom sme pracovali ďalej s počtami staníc uvedenými v Tab. 6. Pre zlepšenie plošnej výpovednosti zrážok meraných bodovo oproti plošným satelitným meraniam sme zvýšili počet staníc o stanice v tesnej blízkosti povodia.

Následne sme vypočítali pre každý deň v roku priemernú hodnotu úhrnu za 9 rokov. Získali sme tým dlhodobý priemer ako náhradu štandardného klimatologického normálu (v ďalšom texte použijeme iba zjednodušené označenie DP), ktorý doteraz pre porovnávaný satelitný H05 produkt nebol pripravený, ale pre naše potreby bude postačujúci. Dôvodom je hlavne skutočnosť, že konzistentné údaje o zrážkach zo satelitov máme práve od roku 2012, keď v rámci CDOP-1 prvé vyvinuté produkty boli deklarované EUMETSAT-om ako operatívne.

Satelitné údaje z produktu H05B

Spracovali sme denné 24-hodinové úhrny zrážok z produktu H05B za účelom ich plošnej integrácie nad testovacími povodiami. Výsledkom boli priemerné hodnoty úhrnov zrážok všetkých pixelov nad jednotlivými povodiami pre každý deň od 1. 1. 2012 do 31. 12. 2020. Následne sme vypočítali pre každý deň v roku priemernú hodnotu úhrnu za 9 rokov. Získali sme tým obdobný DP, ktorý sme použili neskôr s obdobným DP, vypočítaným zo zrážkomerných údajov.

Zmienené DP pre jednotlivé povodia zo zrážkomerov a satelitných údajov prirodzene nie sú totožné. Rozdiely vyplývajú z rozdielnej metodiky meraní zrážok – priame bodové verzus dištančné meranie prostredníctvom radiancií a aplikácie zložitých algoritmov na satelitné údaje. Výsledky porovnania budeme demonštrovať na povodí Hron a sú zobrazené na Obr. 8 a 9.

Tabuľka 6. Počty staníc reprezentujúcich priemerné denné úhrny zrážok v testovacích povodiach.

Table 6. Numbers of stations representing average daily precipitation totals in test catchments.

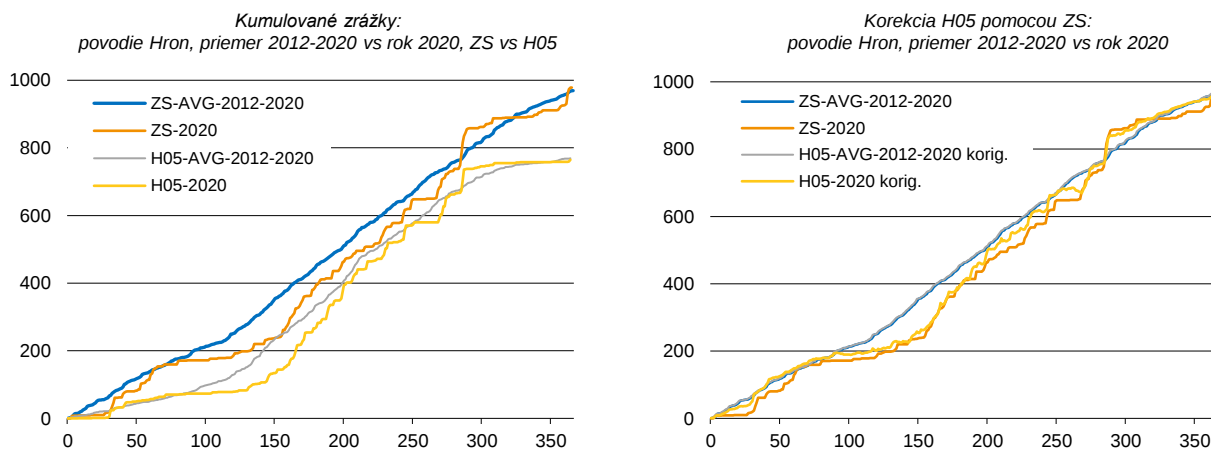
Povodie	Počet staníc		
	v povodí	v blízkosti okolí	spolu
Myjava	8	7	15
Nitra	26	13	39
Hron	30	9	39
Kysuca	12	5	17
Topľa	16	4	20

Na Obr. 8 vľavo je modrou čiarou zobrazený 9-ročný DP denných kumulovaných zrážok podľa zrážkomerov a sivou čiarou obdobný DP podľa satelitných meraní. Vidíme, že satelit podhodnocuje celkové množstvo zrážok, čím ďalej sme od začiatku roku, tým viac narastá rozdiel medzi oboma krivkami, podhodnocovanie zrážok satelitom sa kumuluje. Aby sme mohli objektívne porovnať denné

akumulované zrážky v roku 2020 zo zrážkomerov a satelitu, vypočítali sme korekciu – rozdiel medzi obidvomi DP. Tento rozdiel sme pripočítali ako korekciu k satelitným denným úhrnom. Výsledok je zobrazený na Obr. 8 vpravo. Kým krivky, zobrazujúce denné akumulované zrážky zo zrážkomerov a satelitu, na obrázku vľavo sú voči sebe výrazne posunuté, na obrázku vpravo sa takmer stotožňujú.

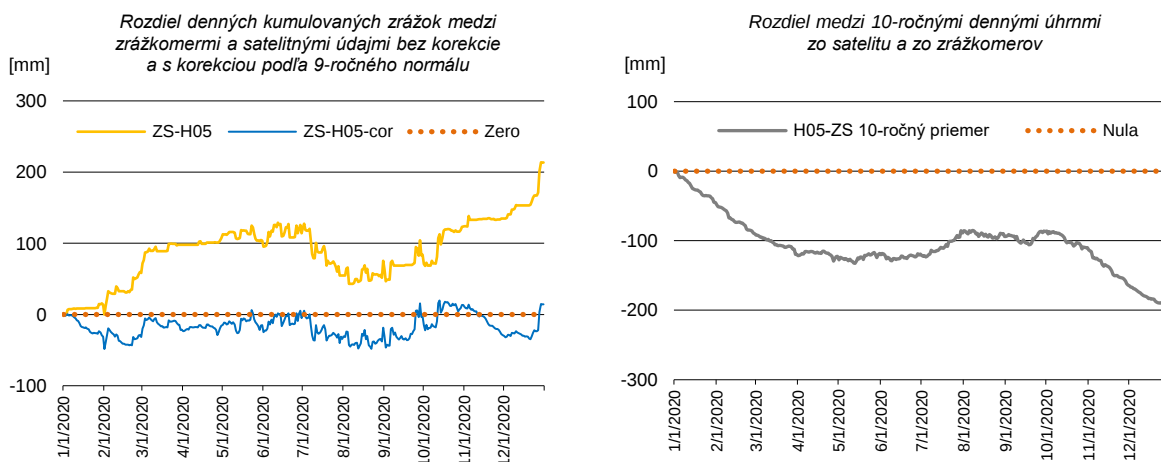
Obrázok 8. Vľavo: Ročné kumulované zrážky za rok 2020 v povodí Hron. Porovnanie 9-ročného DP zrážkomerných staníc (modrá) a satelitných meraní (sivá). Kumulované zrážky v roku 2020 podľa zrážkomerných staníc (oranžová) a satelitných meraní (žltá). Vpravo: Ročné kumulované zrážky v povodí Hron pre rok 2020 zo satelitu sú korigované pomocou rozdielov 9-ročných DP zrážkomerov a satelitných meraní. Satelitné merania (žltá) sa po korekcii priblížili ku zrážkomernému úhrnu (oranžová) v priebehu celého roku 2020.

Figure 8. Left: Annual cumulative precipitation for 2020 in the Hron river basin. Comparison of the 9-year averaged precipitation from stations (blue) and satellite averaged measurements (grey). Cumulated precipitation in 2020 according to precipitation stations (orange) and satellite measurements (yellow). Right: The annual cumulative precipitation in the Hron catchment area for 2020 from the satellite is corrected using the differences between the 9-year raingauge and satellite averages. Satellite measurements (yellow) approached the raingauge precipitation estimations (orange) throughout 2020.



Obrázok 9. Porovnanie rozdielu kumulovaných denných priemerných úhrnov zrážok v roku 2020 zo zrážkomerov a zo satelitu v povodí rieky Hron. Žltá čiara – bez korekcie satelitných meraní, modrá čiara – s korekciou satelitných meraní pomocou 9-ročného zrážkomerného DP 2012 – 2020.

Figure 9. Comparison of the difference between the cumulative daily average precipitation totals in 2020 from precipitation meters and from a satellite in the Hron river basin. Yellow line - without correction of satellite measurements, blue line - correction of satellite measurements using the 9-year averaged precipitation 2012 – 2020.



Účinok zavedenej korekcie je pozitívny a zlepšil zrážkové úhrny určené satelitnými meraniami v celom sledovanom období.

Z priebehu rozdielu 9-ročných priemerných denných úhrnov zo satelitu a zrážkomerov vyplýva, že v polroku od novembra do konca marca narastá postupne záporný rozdiel medzi kumulovaným úhrnom určeným satelitom a zrážkomermi. Satelitné údaje v tomto polroku podhodnocujú množstvo zrážok. V mesiacoch apríl, máj, jún a september, október sú obidve sady údajov v relatívnej zhode. V mesiaci júl pozorujeme slabé nadhodnocovanie zrážok satelitom oproti meraniam zrážkomerov. Vysvetľujeme si to tým, že v letnom období prevládajú zrážky z konvektívnej oblačnosti, kedy zrážkomery nedokážu plošne zachytiť všetky zrážky na ploche testovacieho povodia, pretože zrážky sú síce intenzívne, ale veľmi lokálne rozložené. Satelit síce kvôli rozlíšeniu tiež nedokáže identifikovať lokálne extrémne zrážok, ale algoritmus rozloží zrážky identifikované mikrovlnnými meraniami rovnomerne do celej plochy, ktorá je pokrytá oblačnosťou.

DISKUSIA A ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo predstaviť odbornej verejnosti aktivity SHMÚ v rámci spolupráce členských štátov EUMETSAT-u. SHMÚ sa aktívne zapája do tejto spolupráce v rámci H SAF. Výsledky našej práce sú: vývoj validačného softvéru pre všetkých členov konzorcia, pravidelné každoročné validovanie zrážok nad územím Slovenska, pravidelné hydrologické hodnotenie pridanej hodnoty satelitných dát pri ich aplikovaní do hydrologických modelov a zostavovanie prípadových štúdií slúžiacich ako spätná väzba vývojárom satelitných produktov. Okrem Slovenska, sa na validácii produktov zrážok spolupodieľa ďalších 7 európskych krajín, zastúpených národnými meteorologickými, resp. hydrologickými službami, pod vedením Talianska. Ako referenčné údaje pre porovnanie so satelitnými produktmi sa používajú odhady zrážok z radarov a dáta zo sietí zrážkomerov (Puca et al, 2014).

Tiež bolo naším cieľom ukázať potenciál satelitných odhadov kumulovaných zrážok, ktoré pri správnej kalibrácii a korekcii na lokálne pomery pomocou siete zrážkomerov môžu byť užitočné pri monitorovaní dlhodobého chodu zrážok a môžu pomôcť tak pri hodnotení zrážkových epizód, ako aj období sucha. Produkty zrážok zo satelitov sú generované globálne na základe snímania celej Zeme mikrovlnnými a infračervenými senzormi. Ich výhodou je priestorová a časová kontinuita, nevýhodou veľká zaťaženosť rozdielnosťou regionálnych vplyvov orografie a klimatických podmienok. Toto všetko sa snažia autori satelitných produktov podchytiť algoritmi, ale s nevyhnutnou podporou systematickej priebežnej kontroly, na ktorej sa práve my ako užívatelia najviac podieľame.

Pri spoločných diskusiách riešiteľov H SAF sme často riešili užitočnosť satelitných produktov v rámci jednotlivých regiónov. Kým pre EUMETSAT sa javí úžitková hodnota produktov významná v globálnej mierke, a najmä v tropickom a subtropickom pásme, pre malé krajiny, akou

je aj Slovensko, je dôležité, aby produkty adekvátne popisovali deje na relatívne malom území miestnych zemepisných šírok. Napríklad, v Taliansku a iných stredomorských krajinách, dosahujú zrážkové úhrny pri jednotlivých epizódach často hodnoty cez 200 mm, ktoré sú satelitnými algoritmi celkom dobre zachytené (napr. Levizzani, 2013; Laviola, 2011), ale na Slovensku, už pri podstatne nižších úhrnoch zrážok, máme požiadavku na vyššiu presnosť satelitných produktov. Preto sme sa do validačnej metodológie snažili zakomponovať prísnejšie hraničné hodnoty presnosti produktov, ktoré sme aj adekvátne implementovali vo validačnej metodológii a validačnom softvéri.

Medzi kľúčové postupy pri spracovaní a používaní satelitných produktov patrí ich správna transformácia (upscaling) do spoločného gridu s ostatnými zdrojmi údajov – rádiolokačnými a zrážkomernými meraniami zrážok. Túto úlohu dnes riešime s cieľom iniciácie využívania týchto produktov nielen v meteorológii a hydrológii, ale odporúčame využívanie satelitných produktov aj v klimatológii. A to nielen produktov H SAF, ale najmä údaje poskytované konzorciom CM SAF (Climate Monitoring SAF), produkty ICDR (Interim Climate Data Records) a TCDR (Thematic Climate Data Records).

Podakovanie

Štúdia porovnania zrážkomerov a satelitných údajov denných kumulovaných zrážok bola pripravená vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd“ (kód ITMS2014+313011W580), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

- ATBD H01 - *Algorithms Theoretical Baseline Document - ATBD-01 new rel.: Precipitation rate at ground by MW conical scanners. EUMETSAT, Doc.No: SAF/HSAF/ATBD-01new rel., 31/05/2013.*
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-01_new_rel_2_1.pdf&tipo=ATBD.
- ATBD H02B - *Algorithm Theoretical Baseline Document for product P-IN-MHS (H02B) P-IN-MHS - Precipitation rate at ground by MW cross-track scanners. EUMETSAT, Doc. No: SAF/HSAF/ATBD-02B, 01/03/2019.*
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=saf_hsaf_atbd-02b_1_2.pdf&tipo=ATBD.
- ATBD H03B - *Algorithm Theoretical Baseline Document for product H03B - P-IN-GRU-SEVIRI Precipitation rate at ground by GEO/IR supported by LEO/MW. EUMETSAT, Doc.No: SAF/HSAF/ATBD-3B, 08/09/2017.*
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-03B_1_2.pdf&tipo=ATBD.

- ATBD H05B - Algorithm Theoretical Baseline Document for product H05B/P-AC-G-SEVIRI: Accumulated precipitation at ground by blended MW and IR. EUMETSAT, Doc. No: SAF/HSAF/ATBD-05B, Rel. 1.2, 08/09/2017. https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-05B_1_2.pdf&tipo=ATBD.
- Kaňák, J.–Okon, L.–Méri, L.–Jurašek, M.–Zvolenský, M.–Hrušková K., 2016, Space Meteorology in Slovakia. Chapter in: Space research in Slovakia 2014–2015, Slovak Academy of Sciences, COSPAR Slovak National Committee. CopyCenter Košice, April 2016, ISBN 978-80-89656-09-7. EAN 9788089656097. <http://nccospar.saske.sk/REPORT20142015/SPACERES EARCHINSLOVAKIA20142015.pdf>
- Kaňák, J.–Okon, L.–Méri, L.–Jurašek, M., 2018, Space Meteorology. Chapter in: Space research in Slovakia 2016–2017. Slovak Academy of Sciences, COSPAR Slovak National Committee. CopyCenter Košice, April 2018, ISBN 978-80-89656-22-3. EAN 9788089656226. <http://nccospar.saske.sk/REPORT20162017/SPACERES EARCHINSLOVAKIA20162017.pdf>.
- Kaňák, J.–Okon, L.–Méri, L.–Jurašek, M., 2020, Space Meteorology. Chapter in: Space research in Slovakia 2018–2019. National Committee of COSPAR in Slovak Republic, Slovak Academy of Sciences. Slovak Central Observatory, Hurbanovo, May 2020, ISBN 978-80-89998-09-8. <http://nccospar.saske.sk/REPORT20182019/SPACERES EARCHINSLOVAKIA20182019.pdf>.
- Laviola, S.–Moscatello, A.–Miglietta, M.–Cattani, E.–Levizzani, V., 2011. Satellite and Numerical Model Investigation of Two Heavy Rain Events over the Central Mediterranean. *Journal of Hydrometeorology*, Vol 12, 634–649.
- Levizzani, V.–Laviola, S.–Cattani, E.–Costa, M.J., 2013, Extreme Precipitation on the Island of Madeira on 20 February 2010 As Seen by Satellite Passive Microwave Sounders. *European Journal of Remote Sensing*, Vol 46, 475–489.
- Petracca, M.–D'Adderio–L.P.–Porcu, F.–Vulpiani, G.–Sebastianelli, S.–Puca, S., 2018, Validation of GPM Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) Rainfall Products over Italy, *Journal of Hydrometeorology*, Vol 19, 907–925.
- Petracca, M.–Kaňák, J.–Porcu, F.–Iwanski, R.–Lapeta, B.–Diószeghy, M.–Szenyán, I.–Baguis, P.–Roulin, E.–Oztopal, A.–Krahe, P.–Kunkel, A.–Artinian, E.–Chervenkova, H., Cacciamani, C.–Tonizzo, A.–Vulpiani, G.–Puca, S., 2019, Results of comparison between Precipitation estimates by MW scanner and dual-frequency precipitation satellite radar according H SAF validation methodology over MSG full-disk area. Joint EUMETSAT/AMS/NOAA Conference 2019, Boston, USA, 30 September – 4 October 2019. Conference poster: Abstract link: <https://ams.confex.com/ams/JOINTSATMET/meetingapp.cgi/Paper/360562>.
- Puca, S.–Porcu, F.–Rinollo, A.–Vulpiani, G.–Baguis, P.–Babalanova, S.–Campione, E.–Erturk, A.–Gabellani, S.–Iwanski, R.–Jurašek, M.–Kaňák, J.–Kerényi, J.–Koshinchanov, G.–Kozinarova, G.–Krahe, P.–Lapeta, B.–Lábó, E.–Milani, L.–Okon, L.–Öztopal, A.–Pagliara, P.–Pignone, F.–Rachimow, C.–Rebora, N.–Roulin, E.–Sönmez, I.–Tonizzo, A.–Biron, D.–Casella, D.–Cattani, E.–Dietrich, S.–Di Paola, F.–Laviola, S.–Levizzani, V.–Melfi, D.–Mugnai, A.–Panegrossi, G.–Petracca, M.–Sanò, P.–Zauli, F.–Rosci, P.–De Leonibus, L.–Agosta, E.–Gattari, F., The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products., *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 871–889, DOI:10.5194/NHESS-14-871-2014.
- Rinollo, A.–Vulpiani, G.–Puca, S.–Kaňák, J.–Lábó, E.–Okon, L.–Roulin, E.–Cattani, E.–Laviola, S.–Levizzani, V., 2013, Definition and impact of a quality index for radar-based reference measurements in the H SAF precipitation product validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2695–2705.
- Sanò, P.–Panegrossi, G.–Casella, D.–Di Paola, F.–Milani, L.–Mugnai, A.–Petracca, M.–Dietrich, S., 2015, The Passive microwave Neural network Precipitation Retrieval (PNPR) algorithm for AMSU/MHS observations: description and application to European case studies. Article in *Atmospheric Measurement Techniques*, February 2015, DOI: 10.5194/amt-8-837-2015.
- Sebastianelli, S., Quantitative precipitation estimates from dual-polarization weather radar in Lazio region H02 vs DPR comparison software, doktorandská práca: <https://www.scribd.com/document/409633650/Tesi-Dottorato-Stefano-Sebastianelli-pdf>.

OVZDUŠIE A ZDRAVIE NA SLOVENSKU V ROKOCH 2010 – 2020

MICHAL MLADÝ, KATARÍNA PUKANČIKOVÁ, VERONIKA MINÁRIKOVÁ, BLANKA PAVELEKOVÁ

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Odbor Monitorovanie kvality ovzdušia

This paper is aimed at those air pollutants having the most negative impact on human health in our country: PM₁₀, PM_{2.5}, benzo(a)pyrene, nitrogen dioxide and ground-level ozone. Apparently, the most important of them are fine particles PM_{2.5}. Exposure of population by PM_{2.5} in Slovakia recorded significant decrease in years 2010–2020, which had a positive effect on the quality of life in our country. However, based on the calculations it is possible to estimate, that the PM_{2.5} in the air caused in the year 2019 in Slovakia 4 300 premature deaths. The article deals mainly with the last years of the period 2010–2020. It also draws attention to the high concentrations of benzo(a)pyrene in the Slovak Republic and compares air quality in our country, our neighbours and some EU countries with low and highest level of benzo(a)pyrene. Denmark, Germany and the Czech Republic are given here as examples for the measurement of benzo(a)pyrene and the reduction of its high concentrations in the air.

Článok je zameraný na tie znečisťujúce látky v ovzduší, ktoré majú u nás najnegatívnejší vplyv na ľudské zdravie: PM₁₀, PM_{2.5}, benzo(a)pyrén (BaP), oxid dusičitý a prízemný ozón. Zjavne najzávažnejšími z nich sú jemné častice PM_{2.5}. Expozícia obyvateľstva týmito časticami na Slovensku zaznamenala v rokoch 2010–2020 významný pokles, čo pozitívne ovplyvnilo kvalitu života u nás. Jednako je na základe výpočtov možné odhadnúť, že PM_{2.5} v ovzduší zapríčiniло v roku 2019 na Slovensku 4 300 predčasných úmrtí. Článok sa venuje predovšetkým posledným rokom obdobia 2010–2020. Upriamuje pozornosť i na vysoké koncentrácie benzo(a)pyrénu (BaP) v SR a porovnáva kvalitu ovzdušia u nás, našich susedov a v niektorých EÚ štátoch s nízkou a najvyššou úrovňou BaP. Pre meranie benzo(a)pyrénu a znižovanie jeho vysokých koncentrácií v ovzduší uvádza ako vzor Dánsko, Nemecko a Českú republiku.

Key words: air quality monitoring, health, respiratory and cardio-vascular diseases, cancer, atmospheric aerosols, benzo(a)pyrene, nitrogen dioxide, ground-level ozone

„Začneme sa pýtať samých seba, ako sme sa tak dlho mohli zmieriť s miliónmi predčasných úmrtí v dôsledku znečistenia ovzdušia.“

David Attenborough: Život na našej planéte.
Moje svedectvo a vízia do budúcnosti, 2020

ÚVOD

Otázka toho, čo dýchame, je v súvislosti s klimatickými zmenami a trendom vývoja životného prostredia u nás i vo svete, ako aj s pandémiou ochorenia COVID-19, stále na-
liehavejšia.

Zaujímavosť • Zo Záhoria alebo z Devínskej Kobyly v Bratislave môžeme niekoľkokrát v roku vidieť rakúske Alpy (najvýchodnejšia dvojtisícovka je 2 075 m vysoký Schneeberg vzdialený z Devínskej Kobyly 100 km), alebo z bratislavskej Koliby je možné často vidieť Zobor (76 km) v Nitre. • Podľa SHMÚ bol prekonaný slovenský rekord v dohľadnosti v diaľkovom pozorovaní: z Kráľovej hole bolo vidieť 310 km vzdialené rumunské hory (8. 2. 2020).

Žijeme obklopení vzduchom, v ktorom sa nachádzajú aj znečisťujúce látky v podobe **mikroskopických častíc, drobných kvapôčok a plyných látok**. Ich prítomnosť sa môže (ale nemusí) prejavovať v lepšej či horšej dohľadnosti. Dohľadnosť nám tak poskytuje istú informáciu o stave kvality ovzdušia, aj keď zhoršenie dohľadnosti neznamená vždy jeho znečistenie.

Pôvod a charakteristiku niektorých znečisťujúcich látok v ovzduší spolu s ich vplyvom na ľudský organizmus znázorňuje Obr. 1. V Tab. 1 sú uvedené niektoré limitné a cieľové hodnoty na ochranu ľudského zdravia platné v EÚ¹ a odporúčané Svetovou zdravotníckou organizáciou (WHO), ktoré sú výrazne prísnejšie.

NAJZÁVAŽNEJŠIE ZNEČISŤUJÚCE LÁTKY V OVZDUŠÍ

Na Slovensku medzi znečisťujúce látky v ovzduší najviac ovplyvňujúce zdravie človeka patria na prvom mieste **atmosférické aerosóly** (častice PM₁₀² a PM_{2.5}³), **polycyklické aromatické uhľovodíky** (PAH), ktorých referenčnou zlúčeninou je **benzo(a)pyrén** (BaP) a v lokalitách výrazne zaťažených emisiami z cestnej dopravy aj **oxid dusičitý** (NO₂). V letných mesiacoch na Slovensku zároveň prichádza k občasným smogovým epizodám **prízemného ozónu** (O₃).

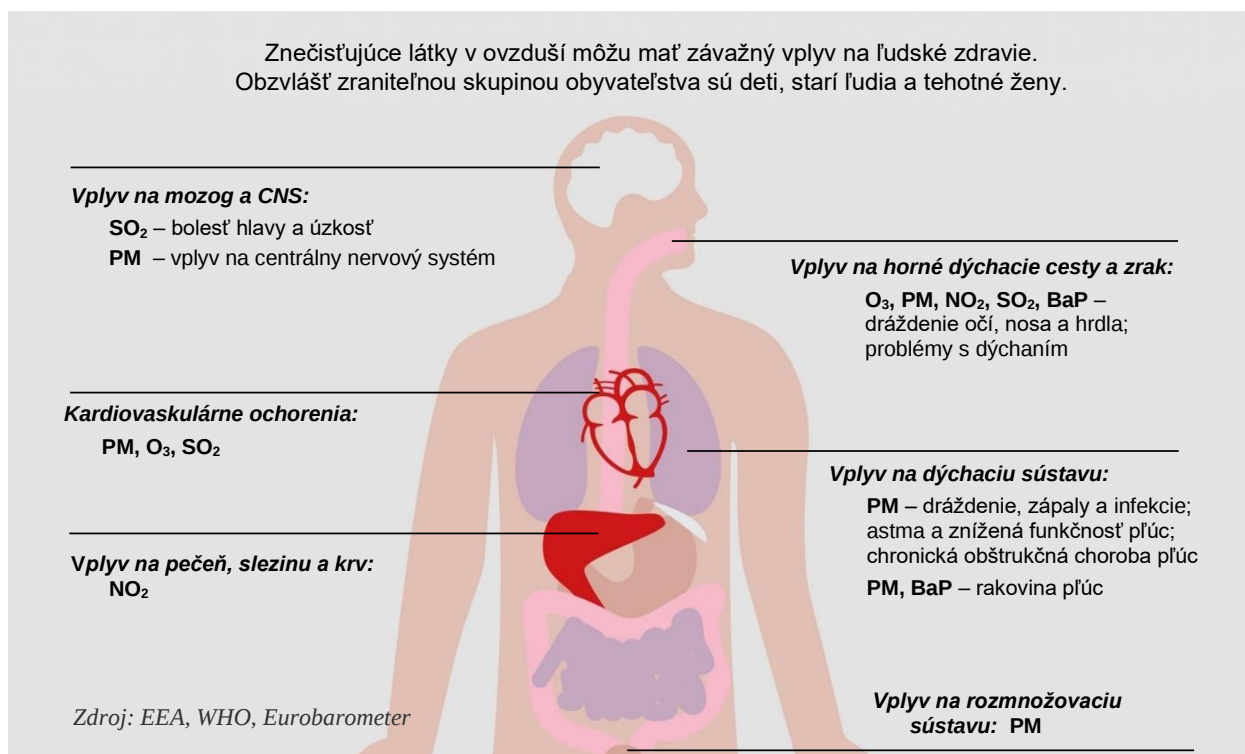
¹ Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2008/50/ES

² PM₁₀ – drobné častice a kvapôčky s aerodynamickým priemerom ≤ 10 μm

³ PM_{2.5} – drobné častice a kvapôčky s aerodynamickým priemerom ≤ 2,5 μm, označujú sa ako jemné častice

Obrázok 1. Vplyv znečistenia ovzdušia na zdravie.

Figure 1. Influence of air pollution on health.



Atmosférický aerosól (častice PM) – mikroskopické častice rozptýlené vo vzduchu a unášané vetrom. Súčasťou PM je napr. prach, morská soľ, kondenzované kvapôčky niektorých chemických látok, takisto peľ a časti rastlín, ale aj benzo(a)pyrén (BaP), výfukové emisie dieselových motorov, dusičnany, sírany a sadze v ovzduší, na ktoré môžu byť naviazané toxické látky. Príkladom atmosférického aerosólu je tiež hmla či cigaretový dym.

Oxid dusičitý NO_2 – jeho hlavným zdrojom sú emisie z automobilovej dopravy a spaľovacie procesy v priemysle a energetike.

Prízemný ozón O_3 – vzniká za prítomnosti slnečného žiarenia chemickými reakciami znečisťujúcich látok emitovaných do ovzdušia, napríklad z dopravy, ťažby zemného plynu, zo skládok a z chemikálií pre domácnosť. Reakcie, pri ktorých sa tvorí tzv. fotochemický smog, sa zúčastňujú najmä oxidy dusíka, oxid uhoľnatý a prchavé organické zlúčeniny (VOC) za podpory ultrafialového žiarenia.

Oxid siričitý SO_2 – je emitovaný do ovzdušia z paliva obsahujúceho síru (napr. uhlia a ťažkého vykurovacieho oleja) pri kúrení, pri výrobe elektrickej energie, v doprave a petrochemickom priemysle. Sopky takisto emitujú SO_2 do atmosféry.

Benzo(a)pyrén BaP – tvorí sa pri nedokonalom spaľovaní. Hlavným zdrojom je vykurovanie domácností tuhým palivom, výroba koksu, železa, ocele, požiare, spaľovanie odpadu a tiež automobilová doprava.

Tabuľka 1. Limitné a cieľové hodnoty vybraných znečisťujúcich látok.

Table 1. Limit and target values of selected air pollutants.

Súčasná Smernica pre kvalitu ovzdušia EÚ a odporúčanie WHO pre vybrané znečisťujúce látky				
Znečisťujúca látka	Obdobie	EÚ smernica		WHO odporúčanie
$\text{PM}_{2.5}$	Kalendárny rok	Limitná hodnota:	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ***
PM_{10} ⁴	Kalendárny rok	Limitná hodnota:	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ***
O_3	Maximálny denný 8 h priemer	*Cieľová hodnota:	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_2	Kalendárny rok	Limitná hodnota:	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ **
Benzo(a)pyrén	Kalendárny rok	Cieľová hodnota:	1 ng/ m^3	0,12 ng/ m^3 ***

* cieľová hodnota pre ozón sa neprekročí viac ako 25 dní za kalendárny rok v priemere troch rokov

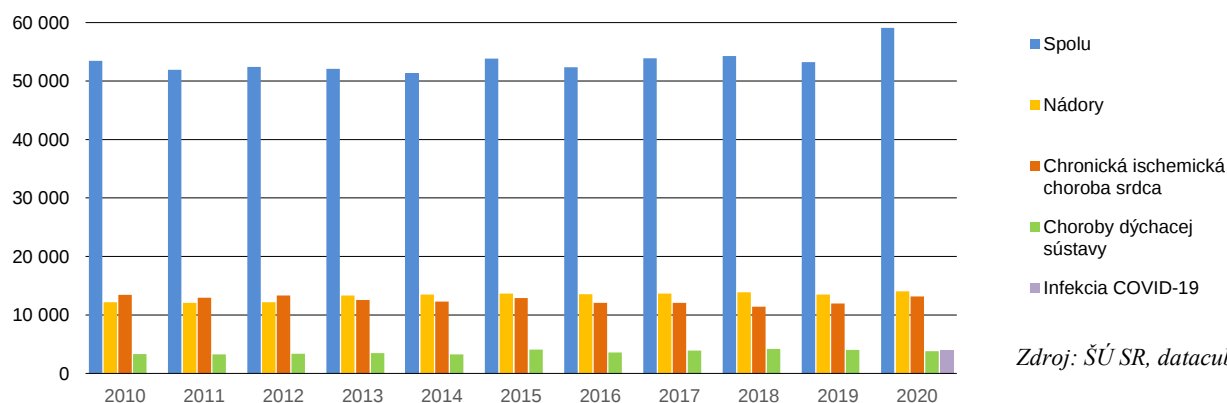
** nové odporúčania vydala WHO 22.septembra 2021, sú omnoho prísnejšie ako tie predchádzajúce z roku 2005

*** Air quality in Europe — 2020 report (EEA, 2020)

⁴ okrem uvedenej limitnej hodnoty pre kalendárny rok platí limitná hodnota aj pre priemerné denné koncentrácie PM_{10} , ktoré podľa legislatívy EÚ nesmú prekročiť 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ viac než 35-krát za rok

Obrázok 2. Počet a vybrané príčiny úmrtí na Slovensku v rokoch 2010 – 2020.

Figure 2. Number and selected causes of deaths in Slovakia in years 2010 – 2020.



Zdroj: ŠÚ SR, datacube

Dlhodobá expozícia človeka jemnými časticami $PM_{2.5}$ môže spôsobiť **respiračné**, tiež **srdcovo-cievne ochorenia** a podľa Medzinárodnej agentúry pre výskum rakoviny je hlavnou environmentálnou príčinou **rakoviny** (IARC, 2013). Jemné častice $PM_{2.5}$ po vdýchnutí alebo preniknutí pod kožu môžu vyvolať alebo zvýšiť početnosť výskytu genetických poškodení.

V období 2010–2019 prišlo na Slovensku ročne k 51 346 (r. 2014) až 54 293 (r. 2018) úmrtiam. V roku 2020, s objavením pandémie COVID-19, to bolo 59 089 úmrtí. Obr. 2 zachytáva vybrané príčiny úmrtí, ktoré môžu súvisieť s expozíciou obyvateľstva znečisťujúcimi látkami v ovzduší, čo dýchame: z nich sa najviac na príčinách podieľali nádory (s maximom 14 027 úmrtí v roku 2020) a chronická ischemická choroba srdca (s maximom 13 422 úmrtí v roku 2010). Infekcia COVID-19 si vyžiadala prvý rok pandémie (2020) podľa ŠÚ SR 4 004 obetí.

U nádorov, resp. u chorôb dýchacej sústavy, ako príčin úmrtí, prevažovali muži (55–58 %, resp. 53–57 %), u chronickej ischemickej choroby srdca ženy (57–59 %). V piatich rokoch (2011, 2013, 2014, 2016 a 2019) sledovaného desaťročia prišlo medziročne k poklesu počtu úmrtí. Najväčší medziročný nárast bol zaznamenaný v roku 2020 (5 855 úmrtí), druhý najväčší nárast v roku 2015 (2 480).

Najväčší podiel na znečisťovaní ovzdušia časticami $PM_{2.5}$ v roku 2017 na Slovensku má **vykurovanie domácností** (79 %) najmä tuhým palivom, menší podiel má **doprava** (8,0 %), **energetika** (6,1 %) a **priemysel a použitie produktov** (4,6 %); podiel poľnohospodárstva je 1,4 % a odpadov 0,9 % (Enviroportál, 2021).

Európska environmentálna agentúra (EEA) každý rok publikuje v správe *Air quality in Europe* (napr. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>) odhad počtu predčasných úmrtí v európskych krajinách zapríčinených expozíciou obyvateľstva jemnými časticami $PM_{2.5}$, oxidom dusičitým NO_2 a prízemným ozónom O_3 (Tab. 2), počítaný metodikou Svetovej zdravotníckej organizácie. Najnegatívnejší vplyv na ľudské zdravie z týchto troch znečisťujúcich látok v ovzduší majú jemné častice $PM_{2.5}$. Opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia na Slovensku je preto potrebné zacieliť v prvom rade na zníženie koncentrácií $PM_{2.5}$ v ovzduší.

Obr. 3 znázorňuje počet predčasných úmrtí na 100 tisíc obyvateľov zapríčinených expozíciou obyvateľstva jemnými časticami $PM_{2.5}$ v niektorých európskych štátoch. Porovnáva tak kvalitu života z hľadiska pôsobenia tejto znečisťujúcej látky v ovzduší na ľudské zdravie, ktorá sa zo všetkých látok v atmosfére najviac podieľa na skracovaní očakávanej dĺžky života.

Tabuľka 2.

Odhad predčasných úmrtí zapríčinených expozíciou obyvateľstva jemnými časticami $PM_{2.5}$, NO_2 a O_3 na Slovensku v rokoch 2011–2018.

Table 2.

Estimate of premature deaths caused by exposure of population with fine particles $PM_{2.5}$, NO_2 and O_3 in Slovakia in years 2011–2018.

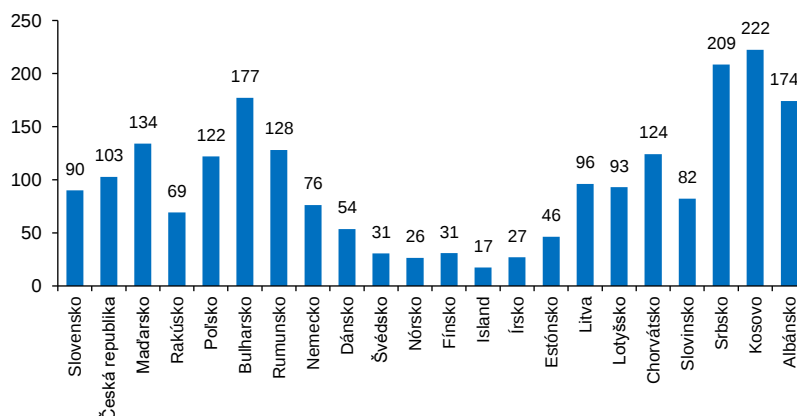
(EEA, 2021)

Rok	Počet obyvateľov [tis.]	$PM_{2.5}$		NO_2		O_3	
		Priemerná expozícia [$\mu g/m^3$]	Predčasné úmrtia	Ročný priemer [$\mu g/m^3$]	Predčasné úmrtia	SOMO35 [$\mu g/m^3$]	Predčasné úmrtia
2011	5 417	21,8	6 300	-	-	6 051	243
2012	5 700	-	5 700	-	60	-	250
2013	5 410	20,1	5 620	16,0	<5	5 116	200
2014	5 416	19,1	5 160	15,2	100	4 344	160
2015	5 421	19,1	5 200	16,9	240	5 460	210
2016	5 426	17,6	4 800	13,5	20	4 232	160
2017	5 435	18,8	5 100	14,7	40	4 861	190
2018	5 443	18,2	4 900	14,8	40	6 129	230

Obrázok 3.
Počet predčasných úmrtí
zapríčinených expozíciou
obyvateľstva jemnými časticami
PM_{2,5} na 100 tis. obyvateľov
v roku 2018.

Figure 3.
Number of premature deaths
caused by exposure of population
with fine particles PM_{2,5} on 100 000
inhabitants in the year 2018.

(EEA, 2020)



ATMOSFÉRICKÉ AEROSÓLY (PM)

Atmosférický aerosól predstavuje zmes vzduchu a častíc, ktoré sú v ňom rozptýlené. Zahŕňa fáz plynú, tuhú a kvapalnú. Môžu to byť kvapôčky alebo tuhé častice – oboje spoločne označujeme **PM** (particulate matter), zjednodušene tiež **prachové častice** alebo **tuhé znečisťujúce látky**. Existuje viacero druhov aerosólov, ktoré tvoria súčasť nášho životného prostredia. Ich príkladom je **hmla** alebo **cigaretový dym**. Prostredníctvom atmosférických aerosólov sa prenášajú aj vírusy.

Častice v ovzduší môžu byť prírodného pôvodu (**prírodné aerosóly** – niektoré z nich majú priaznivý vplyv na zdravie človeka, napríklad morská soľ – tá predstavuje najväčší zdroj aerosólov v atmosfére (Bačík, 2020)). Avšak oveľa nebezpečnejšie pre ľudské zdravie sú tie častice v ovzduší, ktoré vznikajú v dôsledku ľudskej činnosti. Nazývame ich **antropogénne aerosóly**. V prírode sa bežne nenachádzajú. Prírodný a antropogénny prach sa svojim zložením výrazne líšia (Bačík, 2020). Kým s prírodným prachom sa človek stretáva od nepamäti, antropogénny prach (všeobecnejšie antropogénny aerosól) je pre ľudský organizmus cudzorodý.

Zaujímavosť • Nárast koncentrácií častíc PM₁₀, jemných častíc PM_{2,5} a častíc PM₁ (častice menšie ako 1 µm) v každodennom živote dospelých a detí (Yen et al, 2019):

	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁
• pri ustielaní postele – nárast v µg/m ³ o	4,69	4,09	4,15
• pri skákaní na posteli – nárast v µg/m ³ o	414	353	349

Rozdelenie PM podľa veľkostnej frakcie častíc:

- **Častice PM₁₀** – častice s aerodynamickým priemerom ≤ 10 µm (zahŕňajú napr. aj častice PM_{2,5});
- **Jemné častice PM_{2,5}** – častice s aerodynamickým priemerom ≤ 2,5 µm;
- **Hrubé častice PM** s aerodynamickým priemerom od 2,5 do 10 µm – ich koncentrácia v ovzduší sa vypočíta ako rozdiel koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5};

- **Ultrajemné častice PM_{0,1}** – častice s priemerom menším ako 0,1 µm, t. j. 100 nm;
- **Nanočastice** – častice s priemerom < 50 nm.

Zaujímavosť • z biologického mikrosvetu – mravec 5 mm, roztoč 200 µm, priemer ľudského vlasu 10–50 µm, bunky červených krviniek 2–5 µm, priemer DNA 2–12 nm; <https://www.britannica.com/technology/nanotechnology>

Zdravotné riziká spojené s časticami PM (Šuta, 2014)

Čím sú častice menšie, tým predstavujú väčšie riziko pre zdravie človeka:

- častice väčšie než 10 µm sa najčastejšie zachytia v nose a organizmus sa ich môže zbaviť napríklad kašľom či kýchnutím;
- PM₁₀ – častice do 10 µm sa už dostávajú do horných dýchacích ciest a hlbšie do organizmu;
- PM_{2,5} – jemné častice do 2,5 µm sa dostávajú až do pľúc, kde sa usadzujú - obsahujú napr. sírany, dusičnany a sadze, na ktoré môžu byť naviazané toxické látky;
- PM_{0,1} – ultrajemné častice do 0,1 µm – ich malá časť preniká cez pľúcne mechúriky do krvného riečišťa, a je tak prenášaná do celého tela (Kwon, 2020).

Častice PM₁₀ – sú menšie ako 1/5 hrúbky ľudského vlasu

Súčasťou častíc PM₁₀ sú aj jemnejšie frakcie PM, napr. jemné častice PM_{2,5}, ultrajemné častice PM_{0,1} a nanočastice. Je dôležité si to uvedomiť pre lepšie porozumenie hodnotám koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5} a ich vplyvu na ľudský organizmus. Aktuálne hodinové koncentrácie znečisťujúcich látok v ovzduší sú verejnosti dostupné na web stránke SHMÚ.

Je preukázané (WHO, 2013), že krátkodobá expozícia časticami PM₁₀ má efekt na respiračné zdravie. Pokiaľ sa však týka úmrtnosti, a obzvlášť tej, ktorá je dôsledkom dlhodobej expozície, silnejším rizikovým faktorom ako hrubé častice PM (s priemerom od 2,5 µm a 10 µm) sú jemné častice PM_{2,5}.

Zaujímavosť • Za istých poveternostných podmienok prichádza k prenosu častíc PM v ovzduší na veľké vzdialenosti (tzv. diaľkovému prenosu) aj niekoľko tisíc kilometrov – u nás je tento fenomén známy vďaka sahar-skému prachu. Diaľkový prenos sa týka najmä jemných častíc PM_{2,5}. Môže však zahŕňať i frakciu PM₁₀, ktorá obsahuje aj jemné častice PM_{2,5}. • Prikladom diaľkového prenosu znečisťujúcich látok na naše územie je epizóda z 24. marca 2007, keď sa ku nám dostali častice PM₁₀ z Ukrajiny. Ich koncentrácie v ovzduší na Slovensku dosiahli v ten deň ráno v maxime 1 400 µg/m³ (Birmili, 2007). Pre porovnanie: pri epizódach prenosu sahar-ského prachu vysokých koncentrácií na naše územie ide o rádovo menšie hodnoty PM₁₀ – napr. pri epizóde 22.–23. februára 2016 najvyššiu koncentráciu namerala monitorovacia stanica v Malackách 154,6 µg/m³.

Jemné častice PM_{2,5} – v ovzduší sa správajú takmer ako plyn

Zaujímavosť • Pri diaľkovom prenose prachu v ovzduší v roku 2020 bol na Slovensku v atmosfére pozorovaný sahar-ský prach 61 dní, prach z oblasti Kaspického mora 17 dní a z Arabského polostrova jeden deň (Hrabčák, 2020).

Jemné častice PM_{2,5} sú produktom nedokonalého spaľovania, ktoré vznikajú predovšetkým pri **individuálnom (lokálnom) vykurovaní domácností tuhým palivom**. Pri ňom sa navyše tvoria rôzne toxické znečisťujúce látky, ako napríklad karcinogénny benzo(a)pyrén. Ďalším významným zdrojom PM je cestná doprava. Častice hrubej veľkostnej frakcie PM vznikajú pri oteroch pneumatík a vozovky, jemná frakcia PM je súčasťou výfukových emisií (tie obsahujú najmä oxid dusnatý, ktorý relatívne rýchlo oxiduje na oxid dusičitý; oxidy dusíka vytvárajú v ovzduší sekundárny aerosól – tuhé častice dusičnany patriace do skupiny PM_{2,5}).

Takmer všetky znečisťujúce látky pochádzajúce zo spaľovacích procesov dieslových motorov, alebo ich sekundárne produkty tvoriace sa v ovzduší, majú veľkosť významne menšiu ako 1 µm. Predstavujú zmes jemných (≤ 2,5 µm), ultrajemných častíc (≤ 0,1 µm) a nanočastíc (≤ 50 nm) (Diesel Exhaust Particle Size, 2002).

Vplyv úrovne znečistenia ovzdušia jemnými časticami PM_{2,5} na ľudský organizmus (WHO, 2013 a 2015; Pope, 2002):

- pri poklese priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5} z 25 µg/m³ na 15 µg/m³ (a zároveň poklese PM₁₀ z 50 µg/m³ na 30 µg/m³) sa zníži riziko predčasných úmrtí o 6 % (intervalový odhad: 2–11 %);
- pri náraste 24 h koncentrácií PM_{2,5} z 25 µg/m³ na 37,5 µg/m³ (a zároveň náraste 24 h koncentrácií PM₁₀ z 50 µg/m³ na 75 µg/m³) vzrastie krátkodobá úmrtnosť o 1,2 %;
- nárast priemernej ročnej koncentrácie PM_{2,5} o 10 µg/m³ znamená nárast celkovej úmrtnosti zhruba o 4 %, nárast úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia o 6 % a úmrtnosti na rakovinu pľúc o 8 %;

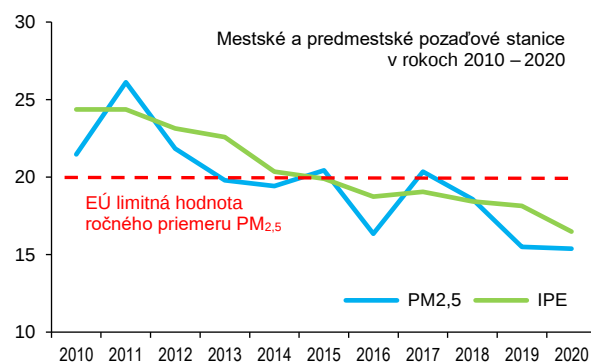
Úroveň koncentrácií jemných častíc PM_{2,5} na Slovensku v rokoch 2010–2020

Expozícia populácie jemnými časticami PM_{2,5} na Slovensku zaznamenala v rokoch 2010–2020 **výrazne klesajúci trend, čo malo pozitívny vplyv na zdravie a kvalitu života u nás**. O tom ako sa to premietlo do počtu predčasných úmrtí pojednáva nasledujúci text.

Obr. 4 porovnáva koncentrácie jemných častíc PM_{2,5} na mestských a predmestských monitorovacích stanicích – ročný priemer PM_{2,5} a Indikátor Priemernej Expozície PM_{2,5} (IPE, angl. AEI – Average Exposure Indicator for PM_{2,5} concentrations).

Obrázok 4. Koncentrácie jemnej frakcie aerosólov v ovzduší na Slovensku v rokoch 2010 – 2020 – ročný priemer PM_{2,5} a Indikátor Priemernej Expozície PM_{2,5} [µg·m⁻³].

Figure 4. Concentrations of fine fraction of aerosols in air in Slovakia (2010 – 2020) – annual mean PM_{2,5} and PM_{2,5} Average Exposure Indicator [µg/m³]



Indikátor Priemernej Expozície PM_{2,5} je trojročným kľúčovým priemerom ročných priemerov PM_{2,5} mestských a predmestských pozadových staníc, a vyjadruje tak trend vývoja koncentrácií PM_{2,5} v ovzduší pre tento typ staníc. Napríklad, IPE 2020 sa počíta ako priemer troch priemer-ných ročných koncentrácií v rokoch 2018, 2019 a 2020. Na Obr. 4 je zvýraznený ročný EÚ limit pre PM_{2,5} na ochranu ľudského zdravia (20 µg/m³), ktorý je platný od 1. 1. 2020. Odporúčanie WHO od roku 2005 je oveľa prísnejšie: 10 µg·m⁻³. To na Slovensku za posledných 11 rokov spĺňala jediná monitorovacia stanica, Kolonické sedlo, a to len v štyroch rokoch – 2016 a 2018–2020. Kolonické sedlo je jednou z vidieckych (regionálnych) pozadových staníc na Slovensku, ktoré merajú kvalitu ovzdušia vo voľnej prírode a sú vzdialené od veľkých zdrojov znečistenia ovzdušia. Od septembra 2021 WHO stanovila dokonca ešte radikálnejšie odporúčanie pre ročný priemer PM_{2,5}: 5 µg·m⁻³.

Tab. 3 a 4 uvádzajú priemerné ročné hodnoty nameraných koncentrácií jemných častíc PM_{2,5} na dopravných, mestských a predmestských monitorovacích stanicích. Na odhad hornej hranice intervalu predčasných úmrtí v SR v roku 2019, zapríčinených expozíciou ľudí touto znečisťujúcou látkou v ovzduší, bol použitý ročný priemer PM_{2,5} z meraní všetkých monitorovacích staníc. Ten možno použiť ako

veľmi hrubý odhad priemernej expozície obyvateľa SR jemnými časticami PM_{2,5} (Beňo a Štefánik, 2020). V po-

sledných troch rokoch dosahoval nasledovné hodnoty: 18,0 µg/m³ (2018), 15,4 µg/m³ (2019) a 14,6 µg/m³ (2020).

Tabuľka 3. Koncentrácie jemných častíc PM_{2,5} v ovzduší v SR (2010–2020) - dopravné stanice [µg/m³].

Table 3. Concentrations of fine particles PM_{2,5} in air in Slovakia (2010–2020) - traffic stations [µg/m³].

AGLOMERÁCIA / zóna (kraj)	Stanica	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Dominantný* zdroj znečistenia
BRATISLAVA	Bratislava, Trnavské Mýto							14,5	CD
KOŠICE	Košice, Štefánikova	21,6			23,3	20,2	18,4	16,3	CD, IVD
Bratislavský	Malacky, Mierové námestie				17,2	17,9	15,7	16,0	CD
Trnavský	Trnava, Kollárova				16,8	20,4	16,2	16,0	CD
	Senica, Hviezdoslavova	19,5			16,4	16,4	13,9	12,9	CD
Trenčiansky	Trenčín, Hasičská			17,9	13,2	19,7	17,7	14,6	CD
Nitriansky	Nitra, Štúrova				14,4	16,4	15,4	12,9	CD
Banskobystrický	Banská Bystrica, Štefánik. nábr.	29,8			23,3	20,2	17,6	15,7	CD, IVD
Žilinský	Martin, Jesenského	25,1	17,4		22,1	17,6	15,0	15,2	CD, IVD
Košický	Krompachy, SNP	23,7			20,7	18,9	17,7	16,5	CD, IVD, P
Prešovský	Prešov, arm. gen. L. Svobodu	24,0			24,3	20,1	18,2	16,0	CD
PRÍEMER		24,0	17,4	17,9	19,2	18,8	16,6	15,1	

Poznámka: Červenou farbou sú zvýraznené priemerné ročné koncentrácie PM_{2,5} po zaokrúhlení väčšie ako 20 µg/m³ – EÚ limitná hodnota platná od 1. 1. 2020. EÚ limitná hodnota platná do 1. 1. 2020: 25 µg/m³.

* CD – cestná doprava, IVD – individuálne vykurovanie domácností, P – priemysel

Tabuľka 4. Koncentrácie častíc PM_{2,5} v ovzduší v SR v rokoch 2010–2020 - mestské a predmestské* pozadové stanice [µg/m³].

Table 4. Concentrations of PM_{2,5} particles in air in Slovakia (2010–2020) - urban and suburban background stations [µg/m³].

AGLOMERÁCIA / zóna (kraj)	Stanica	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Dominantný** zdroj znečistenia
BRATISLAVA	Bratislava, Mameyova			15,1	15,4	17,3	13,2	13,2	MP
	Bratislava, Kamenné nám.					19,4	15,4	14,4	MP
	Bratislava, Jeséniova*			13,5	14,0	15,5	12,0	12,0	IVD
KOŠICE	Košice, Amurská		19,0		19,3	14,8	13,7	14,7	MP, CD
Trenčiansky	Handlová, Morovianska cesta	20,4		16,0	18,0	16,4	13,2	15,8	IVD
	Prievidza, Malonecpalská	24,7			18,4	17,8	14,5	15,3	CD, IVD
	Bystričany*, Rozvodňa SSE	19,8		16,2	18,7	16,5	11,1	15,9	IVD, P-E
Banskobystrický	Banská Bystrica, Zelená	18,2			15,9	14,3	10,2	14,4	MP
	Hnúšťa, Hlavná	18,1	17,6		19,0	18,8	15,8	13,7	IVD
	Jelšava, Jesenského	22,0	22,3		26,7	23,7	21,1	18,4	IVD
	Žiar n/Hronom, Jilemnického	18,3			15,5	16,3	12,9	11,9	MP
	Zvolen, J. Alexyho			14,3	17,7	15,7	14,4	12,2	IVD
Nitriansky	Nitra, Janíkovce	22,5		16,9	19,0	18,2	14,7	14,8	IVD, PH
Žilinský	Žilina, Obežná	31,2			25,9	21,7	18,4	16,9	CD, IVD
	Ružomberok, Riadok	26,7	22,7		24,4	20,5	18,2	19,0	IVD
Košický	Strážske, Mierová	19,1	20,2		21,6	19,4	18,6	15,7	IVD, P
Prešovský	Humenné, Nám. slobody	19,4	19,4		21,7	19,1	17,7	14,2	IVD
	Vranov n/Top., M. R. Štefánika	19,7			19,6	18,6	15,8	14,2	IVD, CD
PRÍEMER		21,5	20,2	15,3	19,5	18,0	15,1	14,8	

Poznámka: Červenou farbou sú zvýraznené priemerné ročné koncentrácie PM_{2,5} po zaokrúhlení väčšie ako 20 µg/m³ – EÚ limitná hodnota platná od 1. 1. 2020. EÚ limitná hodnota platná do 1. 1. 2020: 25 µg/m³.

** MP – mestské pozadie, CD – cestná doprava, IVD – individuálne vykurovanie domácností,

P – priemysel, E – energetika, PH – poľnohospodárstvo

Odhad predčasných úmrtí zapríčinených expozíciou ľudí jemnými časticami PM_{2,5}

Pre odhad počtu predčasných úmrtí sa používajú aj výstupy matematických modelov, keďže potrebujeme poznať koncentráciu PM_{2,5} vo všetkých osídlených oblastiach, nielen v miestach s monitorovacími stanicami. Štúdia (Štefánik a Matejovičová, 2020) uvádza výpočet odhadu predčasných úmrtí pre rok 2017.

Dôležitým údajom pri kvantifikácii expozície obyvateľstva jemnými časticami PM_{2,5} je porovnanie koncentrácií PM_{2,5} na mestských a predmestských pozadových staniach (tie sa využívajú na výpočet Indikátora Priemernej Expozície PM_{2,5}) a na dopravných staniach.

V niektorých rokoch bola priemerná ročná úroveň znečistenia jemnými časticami na mestských a predmestských pozadových staniach dokonca vyššia ako na dopravných staniach. Príčinou mohli byť vyššie emisie PM_{2,5} z lokálnych kúrenísk v porovnaní s cestnou dopravou (faktom je, že viaceré dopravné stanice sú pomerne málo ovplyvnené lokálnymi kúreniskami (Štefánik a Matejovičová, 2020)).

Expozícia časticami PM_{2,5} v obývanom zastavanom území a vo voľnej prírode

Porovnanie znečistenie ovzdušia PM_{2,5}:

- na dopravných a mestských a predmestských pozadových staniach (Tab. 5);
- na vidieckych (regionálnych) pozadových staniach (t.j. vo voľnej prírode) (Tab. 6).

Expozícia ľudí jemnými časticami PM_{2,5} v obývanom zastavanom území bola v rokoch 2010–2020 vyššia, v intervale od 3,9 µg/m³ (r. 2016 a 2019) až po 10,5 µg/m³ (r. 2012).

Pomocou Tab. 3 a 4 je možné kvantifikovať expozíciu obyvateľstva v okolí frekventovaných ciest a v okolí lokálnych kúrenísk s týmito výsledkami pre roky 2018–2020:

- v blízkosti lokálnych kúrenísk bola expozícia obyvateľstva vyššia v priemere od 4,4 do 5,3 µg/m³ ako vo voľnej prírode;
- expozícia ľudí v blízkosti frekventovaných ciest mala vyššie hodnoty od 4,3 do 5,5 µg/m³;
- v roku 2018 a 2019 bol vplyv dopravy dokonca vyšší ako vplyv lokálnych kúrenísk o 0,2–0,3 µg/m³.

Záver: Priemerná koncentrácia PM_{2,5} na Slovensku, počítaná zo všetkých monitorovacích staníc, predstavuje pre daný rok hornú hranicu intervalu expozície obyvateľstva touto znečisťujúcou látkou v ovzduší. Pre šírku intervalu odhadu predčasných úmrtí bol použitý odhad na rok 2017 (získaný pomocou modelovania a pomerne komplikovaných matematických výpočtov; Štefánik a Matejovičová, 2020). Na základe toho predpokladáme, že v roku 2019 počet predčasných úmrtí na Slovensku spôsobený expozíciou obyvateľstva jemnými časticami PM_{2,5} sa nachádza v intervale (2 400; 5 100). Z toho bol určený hrubý bodový odhad: 4 300 predčasných úmrtí v roku 2019, a to po zohľadnení posledného odhadu agentúry EEA, ktorá v správe *Air quality in Europe – 2020 report* kvantifikuje počet predčasných úmrtí na Slovensku v roku 2018 na úrovni 4 900 osôb (Tab. 2).

Tabuľka 5. Ročný priemer PM_{2,5} na dopravných a pozadových (mestských a predmestských) staniach na Slovensku v rokoch 2010–2020.

Table 5. Annual mean PM_{2,5} at traffic and background (urban and suburban) stations in Slovakia in years 2010–2020

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dopravné stanice											
PM _{2,5} [µg/m ³]	23,9	26,8	22,4	18,8	21,3	17,4	17,9	19,2	18,8	16,6	15,1
Počet staníc s výťažnosťou* 75 % a viac	6	7	4	2	6	1	1	10	10	10	11
Mestské a predmestské pozadové stanice											
PM _{2,5} [µg/m ³]	21,5	26,1	22,0	19,8	19,2	20,2	15,3	19,5	18,0	15,1	14,8
Počet staníc s výťažnosťou 75 % a viac	13	14	9	3	13	7	6	17	18	18	18
Rozdiel koncentrácií PM_{2,5} [µg/m³]	2,4	0,7	0,4	-1,0	2,1	-2,8	2,6	-0,3	0,8	1,5	0,3

* výťažnosť udáva percento nameraných platných hodnôt v danom roku

Tabuľka 6. Pozadové stanice vidiecke (vo voľnej prírode) vs. dopravné a (pred)mestské na Slovensku v rokoch 2010–2020 – ročný priemer PM_{2,5}.

Table 6. Background rural stations (situated in nature) vs. traffic and (sub)urban in Slovakia in the years 2010–2020 – annual mean PM_{2,5}.

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dopravné a (pred)mestské pozadové stanice											
PM _{2,5} [µg/m ³]	22,3	26,4	22,1	19,4	19,9	19,8	15,7	19,3	18,3	15,6	14,9
Počet staníc s výťažnosťou* 75 % a viac	19	21	13	5	19	7	7	27	28	28	29
Vidiecke stanice (vo voľnej prírode)											
PM _{2,5} [µg/m ³]	13,8	18,3	11,6	11,9	10,0	10,7	11,9	12,9	13,2	11,7	10,5
Počet staníc s výťažnosťou 75 % a viac	3	3	1	2	1	1	2	3	3	3	3
Rozdiel koncentrácií PM_{2,5} [µg/m³]	8,5	8,1	10,5	7,5	9,9	9,1	3,8	6,4	5,1	3,9	4,4

* výťažnosť udáva percento nameraných platných hodnôt v danom roku

Tabuľka 7. Znečistenie ovzdušia na Slovensku benzo(a)pyrénom v rokoch 2015 – 2020.

Table 7. Air pollution in Slovakia by benzo(a)pyrene in the years 2015 – 2020.

AGLOMERÁCIA Zóna	Cieľová hodnota [ng/m ³]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Dominantný** zdroj znečistenia
	Horná medza na hodnotenie [ng/m ³]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Dolná medza na hodnotenie [ng/m ³]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
BRATISLAVA	Bratislava, Jeséniova	0,6				0,2	0,2	MP
	Bratislava, Trnavské mýto	0,8	1,2	0,4	0,9	0,4	0,5	CD
	Banská Bystrica, Štefánik. nábr.		4,4	2,9	2,1	1,7	1,6	CD, IVD
	Banská Bystrica, Zelená					1,1	1,2	MP
	Veľká Ida, Letná	6,2	3,8	4,3	5,8	4,5	4,6	P, IVD
	Krompachy, SNP	1,9				2,7	2,1	CD, IVD, P
	Prievidza, Malonecpalská	1,4				1,4	1,2	CD, IVD
	Trnava, Kollárova	0,8			0,9	0,7	0,5	CD
	Nitra, Štúrova		1,3	1,3	0,9	0,8	0,6	CD
	Žilina, Obežná				6,0	2,0	1,9	CD, IVD
	Jelšava, Jesenského				4,0	4,0	3,0	IVD
	Starina, Vodná nádrž, EMEP				*1,2	0,4	0,3	VP
	Stará Lesná, EMEP					0,4	0,3	VP

Poznámka: Červenou farbou sú zvýraznené priemerné ročné koncentrácie benzo(a)pyrénu prekračujúce cieľovú hodnotu.

* V roku 2018 nebolo na monitorovacej stanici Starina dostatok platných meraní, hodnota zodpovedá zimnému obdobiu.

** MP – mestské pozadie, CD – cestná doprava, IVD – individuálne vykurovanie domácností, P – priemysel,

VP – vidiecke pozadie (voľná príroda)

BENZO(A)PYRÉN, FAJČENIE A OVZDUŠIE

Ďalšou znečisťujúcou látkou v ovzduší, ktorá je na Slovensku v centre pozornosti z hľadiska intenzity negatívneho vplyvu na zdravie človeka, sú polycyklické aromatické uhľovodíky. Ich referenčnou zlúčeninou je benzo(a)pyrén (BaP). Stretáme sa s ním denne i vizuálne, keďže BaP je jednou z toxických zložiek, ktorú obsahuje cigaretový dym.

V cigaretovom dyme sa nachádza od 0,3 do 2,5 µg na 100 cigariet (pri niektorých cigaretách až 5,5 µg) polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAH). BaP patriaci do skupiny PAHov, má podľa IARC potvrdený karcinogénny účinok na ľudí, a tiež patrí medzi mutagénne látky, priamo poškodzujúce DNA. Používaním cigaretových filtrov sa znižuje podiel dechtu, najmä benzo(a)pyrénu v cigaretovom dyme (Kimáková, 2015).

Medzi potenciálne nebezpečné látky v tabakovom dyme patria aj niektoré ťažké kovy, ako sú **kadmium**, **arzén**, **nikel** a **med'**, ktoré môžu spôsobovať akútne a chronické otravy. IARC⁵ zaradila kadmium, arzén, nikel a ich zlúčeniny medzi potvrdené karcinogény pre ľudí. Ťažké kovy (kadmium, arzén, nikel a olovo) sa na Slovensku merajú na desiatich monitorovacích staniciach, vrátane štyroch staníc s monitorovacím programom EMEP⁶, na ktorých sa meria širší zoznam látok v ovzduší aj v atmosférických zrážkach.

Kým zdrojom benzo(a)pyrénu býva vo vnútornom prostredí cigaretový dym, sviečky a vonné tyčinky, oheň v krbe alebo tepelná úprava potravín (napr. grilovanie, varenie na plynovom sporáku), hlavným zdrojom BaP, ktorý nameriame vo vonkajšom ovzduší, je **vykurovanie domácností tuhým palivom**, priemyselné podniky (výroba

koku, metalurgia, chemické podniky, elektrárne, teplárne) a spaľovacie motory dopravných prostriedkov.

Zaujímavosť • Stojí za povšimnutie, že o znižovanie koncentrácií BaP v interiéroch sa priamo či nepriamo spočiatku starali výrobcovia cigariet. Kým pred rokom 1960 priemerný celkový obsah BaP, ktorý fajčiar priamo vdychoval pri vyfajčení jednej cigarety bol 35 ng, v rokoch 1978–1979 to už bolo 18 ng a u moderných cigariet s „nízkym obsahom dechtu“ 10 ng BaP. • V extrémne zafajčenej miestnosti bola nameraná koncentrácia BaP 22 ng/m³ (Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), WHO, 2020).

Tab. 7 uvádza vývoj koncentrácií BaP meraných v PM₁₀ v ovzduší na Slovensku za posledných šesť rokov. V rokoch 2019 a 2020 prekračovali namerané priemerné ročné koncentrácie BaP cieľovú hodnotu na ochranu zdravia ľudí 1 ng/m³ na siedmich z celkového počtu trinástich staníc, kde sa koncentrácia tejto znečisťujúcej látky v ovzduší monitorovala počas celého roku. Pritom odporúčaná hodnota BaP podľa Svetovej zdravotníckej organizácie je 0,12 ng/m³ (EEA, 2020). Najvyššie koncentrácie v sledovanom období zaznamenala Veľká Ida pri U. S. Steel Košice s priemernou ročnou koncentráciou 6,2 ng/m³ (r. 2015) a 5,8 ng/m³ (r. 2018).

Pri úvahách o škodlivom pôsobení BaP na človeka je dôležité si uvedomiť, že publikované údaje (Tab. 7) predstavujú len ročné priemerné hodnoty. Ako pri viacerých znečisťujúcich látkach, ktoré vdychujeme, tak sa aj pri benzo(a)pyréne veľmi výrazne prejavuje silný vplyv individuálneho vykurovania na znečistenie ovzdušia. Najvyššie koncentrácie sa vyskytujú v zimnom období, najnižšie v lete. Príkladom je Jelšava s vysokou úrovňou znečistenia ovzdušia časticami PM, ktorých súčasťou je aj BaP. Meranie ročného chodu priemerných mesačných koncentrácií BaP za posledných 12 rokov zaznamenalo nasledovné ma-

⁵ <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/>

⁶ The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe (EMEP = European Monitoring and Evaluation Programme)

ximá: v Jelšave v decembri 2018 bola priemerná koncentrácia BaP 16,9 ng/m³, vo Veľkej Ide v januári 2013 bola priemerná koncentrácia 15,9 ng/m³ a v decembri 2020 11,7 ng/m³.

Poznámka: Aj v iných lokalitách podobného charakteru ako Jelšava – kde sa na vykurovanie používa často nedostatočne vysušené palivové drevo v jednoduchých kachliach a kde sa v zimných mesiacoch bežne vyskytujú teplotné inverzie – by sa s veľkou pravdepodobnosťou takisto zistili vysoké koncentrácie BaP.

Úroveň znečistenia ovzdušia BaP v časticiach PM₁₀ v niektorých krajinách EÚ

Zaujímavosť • Význam monitorovania kvality ovzdušia ako jedného z prvých predpokladov jej zlepšenia podčiarkuje príklad Kodane. Hlavné mesto Dánska dnes patrí medzi metropoly s najčistejším ovzduším v Európe i vo svete. V Kodani aj na hlavných cestných komunikáciách okrem áut prúdia i v čase dopravnej špičky cyklisti. V roku 1992 tu namerali priemernú ročnú koncentráciu BaP pri rušnej ceste 4,4 ng/m³ a v mestskom parku 1,3 ng/m³ (PAHs, WHO, 2000). • V roku 2018 dosahovali koncentrácie BaP v ovzduší v Kodani hodnoty pod 0,4 ng/m³. • EÚ určila v roku 2004 (Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2004/107/ES) cieľovú hodnotu pre polycyklické aromatické uhľovodíky na ochranu ľudského zdravia. Pre BaP je to 1 ng/m³. Do platnosti vstúpila táto smernica EP a Rady 31. 12. 2012. Odporúčanie WHO pre BaP je ešte prísnejšie: 0,12 ng/m³ (Air quality in Europe - 2020 report, EEA 2020).

V EÚ najvyššie priemerné koncentrácie karcinogénneho BaP v ovzduší vykazovali v roku 2017–2019 Poľsko, Česká republika, Slovensko a Chorvátsko.

Pre porovnanie úrovne znečistenia ovzdušia uvažujeme aj koncentrácie BaP v ovzduší v Rakúsku a Nemecku, na jednej strane (nízke úrovne znečistenia), a v Poľsku, Českej republike a Chorvátsku, na strane druhej. Slovensko je v tomto ukazovateli kvality života výrazne lepšie ako Poľsko, ale horšie ako Česká republika (mimo Ostravska). Úroveň znečistenia BaP v každej oblasti (t.j. v zóne alebo aglomerácii) charakterizuje tá monitorovacia stanica, ktorá dosahuje najvyššiu priemernú ročnú koncentráciu BaP:

- V **Rakúsku** priemerná ročná úroveň znečistenia BaP v roku 2019 iba v jednej oblasti presiahla cieľovú hodnotu na ochranu ľudí a vegetácie (1 ng/m³), vo zvyšných desiatich oblastiach mala hodnotu menej ako 1 ng/m³, avšak ani jedna oblasť nenašla koncentráciu pod 0,12 ng/m³, ktorú odporúča WHO.
- V **Nemecku** bola v roku 2019 situácia ešte výraznejšia ako v Rakúsku – jedna oblasť vykazovala priemernú ročnú koncentráciu BaP 2,2 ng/m³, 39 oblastí od 0,12 do 1 ng/m³ a zvyšných 30 oblastí pod 0,12 ng/m³ (úroveň odporúčaná WHO).
- Najviac znečistené ovzdušie BaP v EÚ má **Poľsko** z dôvodu vykurovania domácností uhlím. Len štyri poľské oblasti zaznamenali v roku 2019 priemerné ročné hodnoty BaP pod 1 ng/m³, 27 oblastí koncentrácie BaP v rozmedzí 1–4 ng/m³, desať oblastí 4–8 ng/m³, tri oblasti 8–10 ng/m³ a dve oblasti dokonca nad 10 ng/m³.

- V **Českej republike** štyri oblasti namerali priemerné ročné koncentrácie BaP pod 1 ng/m³, päť oblastí 1–3,5 ng/m³ a aglomerácia Ostrava 8,8 ng/m³.
- Dve oblasti v **Chorvátsku** uvádzajú v roku 2019 znečistenie ovzdušia BaP na úrovni 1,7 ng/m³.

To, akú pozornosť venuje meraniu BaP Česká republika, môže byť pre nás veľmi inšpiratívne. BaP monitorovala v roku 2019 (ČHMÚ, 2020) na 46 staniciach (na Slovensku sa v tom roku meral na 13 staniciach), z toho na šiestich v Ostrave (v roku 2020 na ôsmich staniciach). Región Ostravy je oblasťou s najvyšším znečistením časticami PM a BaP v ČR zapríčineným nielen priemyslom, ale v menšej miere aj vykurovaním a diaľkovým prenosom z Poľska. V roku 2019 boli v Ostrave namierané nasledovné priemerné ročné koncentrácie BaP: Ostrava-Poruba DD (1,6 ng/m³), Ostrava-Poruba/ ČHMÚ (2,1 ng/m³), Ostrava-Mariánske hory (2,6 ng/m³), Ostrava-Radvanice OZO (3,9 ng/m³), Ostrava-Radvanice ZÚ (8,8 ng/m³).

OXID DUSIČITÝ NO₂

Hlavným antropogénnym zdrojom oxidov dusíka sú emisie z cestnej dopravy. Ďalším zdrojom sú spaľovacie procesy v priemysle, energetike, ako i poľnohospodárstvo.

Zaujímavosť • Oxidy dusíka v ovzduší prechádzajú chemickými reakciami a tvoria častice dusičnanov, patriace do jemnej frakcie PM_{2.5}. • Pri vyšších koncentráciách NO₂, predovšetkým vymývaných z pôd, môže dochádzať vo vodných ekosystémoch k úhynu rýb a nežiaducemu nárastu vodných rastlín (eutrofizácia vôd).

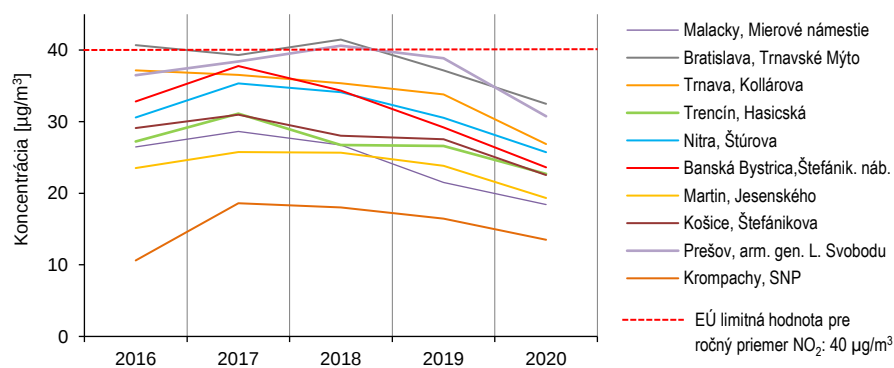
Spôsob analýzy dát popisujúcich kvalitu ovzdušia názorne ilustrujú Obr. 5–7. Zachytávajú vývoj znečistenia ovzdušia NO₂ v rokoch 2016–2020 (v roku 2015 z dôvodu obnovy a modernizácie monitorovacej siete nebolo dosiahnuté požadované množstvo meraní na väčšine staníc). Monitoring sa uskutočňuje na troch základných typoch staníc kvality ovzdušia – 1. dopravných staniciach; 2. mestských a predmestských pozadových staniciach; 3. vidieckych (regionálnych) pozadových staniciach, ktoré sú situované vo voľnej prírode a vzdialené od veľkých zdrojov znečistenia ovzdušia. Úroveň koncentrácie NO₂ sa v závislosti od typu stanice výrazne líši.

V rokoch 2015–2020 prekročili limitnú hodnotu NO₂ na ochranu zdravia ľudí (ročný priemer 40 µg/m³) zo všetkých 38 monitorovacích staníc na Slovensku len dve stanice – Bratislava, Trnavské Mýto (r. 2015: 48,9 µg/m³; r. 2016: 40,7 µg/m³ a r. 2018: 41,5 µg/m³) a Prešov, arm. gen. L. Svobodu (r. 2018: 40,6 µg/m³). Znečistenie ovzdušia oxidom dusičitým na týchto dvoch lokalitách v rokoch 2019–2020 pokleslo. Jeho priemerná úroveň na Trnavskom mýte v Bratislave dosiahla v roku 2020 32,5 µg/m³ a v Prešove 30,8 µg/m³.

Je zaujímavé, aké nízke koncentrácie NO₂ zaznamenáva dopravná monitorovacia stanica v Krompachoch (okres Spišská Nová Ves). Podobne relatívne nízku úroveň znečistenia NO₂ ako Krompachy majú (pred)mestské pozadové stanice s najnižšími koncentraciami tejto znečisťujúcej látky.

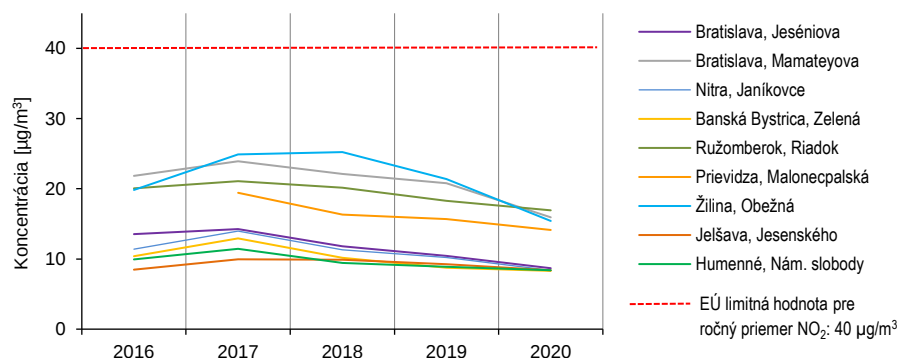
Obrázok 5.
Priemerná ročná koncentrácia NO₂ na dopravných staniciach na Slovensku v rokoch 2016 – 2020.

Figure 5.
Annual mean NO₂ concentration at traffic stations in Slovakia in the years 2016 – 2020.



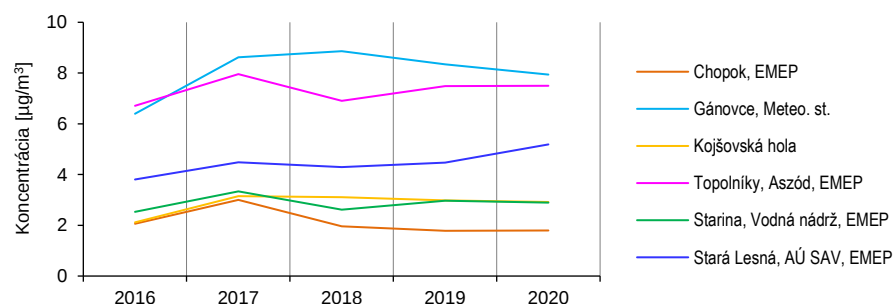
Obrázok 6.
Priemerná ročná koncentrácia NO₂ na mestských a predmestských pozad'ových staniciach na Slovensku v rokoch 2016 – 2020.

Figure 6.
Annual mean NO₂ concentration at urban and suburban background stations in Slovakia in the years 2016 – 2020.



Obrázok 7.
Priemerná ročná koncentrácia NO₂ na vidieckych pozad'ových staniciach na Slovensku v rokoch 2016 – 2020.

Figure 7.
Annual mean NO₂ concentration at rural background stations in Slovakia in the years 2016 – 2020.



Ročný priemer NO₂ v roku 2016 v Krompachoch predstavoval 10,6 µg/m³. Hoci tu ďalší rok tento ukazovateľ dosiahol 18,6 µg/m³, odvtedy jeho hodnota klesá až na 13,5 µg/m³ v roku 2020. Pre porovnanie uvádzame aj koncentrácie NO₂ zaznamenané na vidieckych (regionálnych) pozad'ových staniciach (Obr. 7).

Pokles koncentrácií NO₂ v ovzduší v roku 2020

Na jar 2020, po zavedení prísnych opatrení proti šíreniu ochorenia COVID-19, prišlo na Slovensku k radikálnemu poklesu mobility, a tým aj intenzity cestnej dopravy. Zo zdravotného hľadiska je dôležitou otázkou, aký vplyv mala znížená mobilita na kvalitu ovzdušia. Pojednáva o tom štúdia (Beňo a Štefánik 2020), porovnávajúca priemerné hodnoty NO₂ od 13.3. do 13.4. – v rokoch 2020 a 2010–2019. Jeden z jej záverov hovorí, že na mestských dopravných staniciach SHMÚ prišlo k poklesu koncentrácií NO₂ v priemere o 24,5 % (6 µg/m³), s maximálnym zlepšením o 41 % na monitorovacej stanici Košice, Štefánikova. Naopak,

vidiecke pozad'ové stanice nezaznamenali v období od 13. marca do 13. apríla 2020 významný pokles koncentrácií NO₂.

Analýza dát za celý rok 2020 v porovnaní s rokmi 2017–2019 ukázala pokles koncentrácie oxidu dusičitého na všetkých dopravných a vidieckych pozad'ových monitorovacích staniciach na Slovensku – v prvom prípade v priemere o 22,9 % (7,0 µg/m³), v druhom o 19,8 % (2,1 µg/m³).

PRÍZEMNÝ OZÓN

Zaujímavosť • Ozón je jedinou znečisťujúcou látkou v ovzduší, ktorá nevzniká priamou emisiou zo zdroja.
• Najvyššie koncentrácie dosahuje prízemný ozón od apríla do septembra.

Najvyššie priemerné koncentrácie prízemného ozónu za obdobie rokov 2016 – 2020 dosahovali štyri vidiecke pozad'ové stanice – Chopok (91,9 µg/m³) v Nízkych Tatrách (2 008 m n. m.); Kojšovská hoľa (77,9 µg/m³), ktorá

leží približne 16 km západne od Košíc (1 225 m n. m.); Stará Lesná (60,8 µg/m³) vo Vysokých Tatrách (808 m n. m.) a Starina (60,1 µg/m³), ktorá leží neďaleko poľských a ukrajinských hraníc v nadmorskej výške 345 m –, Košice, Ďumbierska (54,9 µg/m³; 240 m n. m.) a Bratislava, Jeséniova (63,1 µg/m³; 287 m n. m.).

Zaujímavosť • Ozón rozkladajú vyššie koncentrácie oxidu dusnatého (NO), preto sa najvyššie úrovne O₃ nevyskytujú pri rušných križovatkách, pri cestných komunikáciách s vysokou intenzitou dopravy, alebo iných zdrojoch so spaľovacími procesmi. Vyššie koncentrácie ozónu tak nachádzame skôr na predmestiach. • Ozón sa môže prenášať na veľké vzdialenosti v celom regióne. • Vo vyšších horských polohách zohráva nezanedbateľnú úlohu aj prenos ozónu zo stratosféry.

Súčasná európska legislatíva pre ochranu ľudského zdravia stanovuje, že nameraná koncentrácia (najväčšia denná 8-hodinová stredná hodnota) nesmie prekročiť cieľovú hodnotu 120 µg/m³ viac ako 25 dní za kalendárny rok v priemere troch rokov. U nás to v rokoch 2018–2020 nespĺnili tri stanice: Chopok (50 prekročení), Bratislava, Jeséniova (37 prekročení) a Bratislava, Mamateyova (26 prekročení); pre priemernú hodnotu za roky 2017–2019 to nespĺnila ani Nitra, Janíkovce a pre priemernú hodnotu za roky 2016–2018 tiež Kojšovská hoľa. Všetky tieto stanice zaznamenali za posledné dva roky klesajúci trend počtu prekročení.

ZÁVER

Európska environmentálna agentúra EEA každoročne zverejňuje informácie o vplyve troch znečisťujúcich látok v ovzduší, ktoré najnegatívnejšie pôsobia na dĺžku ľudského života: sú to jemné častice PM_{2,5}, atmosférický ozón a oxid dusičitý. Expozícia obyvateľstva týmito látkami na Slovensku v roku 2018 – za ktorý sú k dispozícii posledné údaje – zapríčinila v prípade PM_{2,5} 4 900 predčasných úmrtí, v prípade ozónu 230 predčasných úmrtí, a v prípade oxidu dusičitého 40 predčasných úmrtí (Tab. 1). Jednoznačne najzávažnejší vplyv na ľudské zdravie majú teda jemné častice PM_{2,5}.

Štúdia popisuje spôsob analýzy znečistenia ovzdušia touto látkou porovnávajú koncentrácie PM_{2,5} v obývanom území a vo voľnej prírode. V rokoch 2010–2020 zaznamenali u nás monitorovacie stanice kvality ovzdušia v oboch prípadoch výrazne zlepšujúci sa trend, čo pozitívne ovplyvnilo kvalitu života na Slovensku. Pre rok 2019 štúdia odhaduje, že v dôsledku expozície obyvateľstva jemnými časticami PM_{2,5} prišlo u nás k 4 300 predčasným úmrtiam.

Ovzdušie nepozná hranice. Príspevok poukazuje na dôležitosť porovnávania kvality životného prostredia na Slovensku, u našich susedov ako aj v krajinách s najnižším a najvyšším znečistením ovzdušia, s cieľom motivovať a upriamiť pozornosť na podnetné skúsenosti v zahraničí. Názorne to ilustruje prípad vysokých koncentrácií benzo(a)pyrénu v SR. Pri ich znižovaní a meraní nám môže slúžiť ako vzor napríklad Dánsko, Nemecko a Česká republika.

Podakovanie

Na záver vyjadrujeme srdečné podakovanie za odborné pripomienky k textu M. Mitošinkovej, J. Jagnešákovskej, J. Matejovičovej, P. Tonhauzerovi, E. Karabínovej a P. Hrabčákovi.

LITERATÚRA

- Air quality in Europe – 2020 report, 2020, EEA, s. 14. (Air quality in Europe – 2015, ..., 2019 report). <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>.
- Attenborough, D.–Hughes, J., 2021, Život na našej planéte. Moje svedectvo a vízia do budúcnosti. Barecz & Conrad Media s.r.o. Preklad Eva Adamczeková, s. 161.
- Bačík, B., 2020, Prach v atmosfére – škodlivý alebo prospešný? Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Katedra mineralógie a petrológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. <https://www.youtube.com/watch?v=AkQYR2xuXQs&list=PLYvt3SMIRFlzuE3Hg9U6cSHauseF31O5e>.
- Beňo, J.–Štefánik, D., 2020, Vplyv opatrení na zamedzenie šírenia ochorenia Covid-19 na koncentrácie znečisťujúcich látok na Slovensku – analýza prvého mesiaca. Meteorologický časopis. č.1. http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/MC_2020-1.pdf.
- Birmili, W at al., 2007. An episode of extremely high PM concentrations over Central Europe caused by dust emitted over the southern Ukraine, s. 16. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.371.8214&rep=rep1&type=pdf>.
- Diesel Exhaust Particle Size, 2002, DieselNet Technology Guide » What Are Diesel Emissions » Diesel Particulate Matter. https://dieselnet.com/tech/dpm_size.php
- Health effects of particulate matter, 2013, Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. WHO, s. 6. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf.
- IARC: outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, 2013. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-outdoor-air-pollution-a-leading-environmental-cause-of-cancer-deaths/>.
- Kimáková, T., 2015, Zloženie cigaretového dymu a jeho vplyv na zdravie. Ústav verejného zdravotníctva a hygieny UPJŠ LF. <https://www.zdravie.sk/clanok/48175/zlozenie-cigaretoveho-dymu-a-jeho-vplyv-na-zdravie>
- Koronavírus na Slovensku v grafoch, NCZI, aktualizované 1.12.2021. <https://korona.gov.sk/koronavirus-na-slovensku-v-cislach/>.
- Kwon, H.–Ryu, M.–Carlsten, Ch., 2020, Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease. Experimental & Molecular Medicine v. 52. <https://www.nature.com/articles/s12276-020-0405-1>.
- Nový slovenský rekord v dohľadnosti. https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/slovensko-rekord-dohled-rumunsko-fotograf-polsko_2002111953_tzr.
- Počet a príčiny úmrtí na Slovensku, 2021, ŠÚ SR, datacube: <http://datacube.statistics.sk/>.
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), 2000, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, s. 3. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0015/123063/AQG2ndEd_5_9PAH.pdf.

- Pope, C.A. et al., 2002, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11879110/>.
- Šuta, M., 2014, Znečištění ovzduší a lidské zdraví. Centrum pro životní prostředí a zdraví. Bratislava.
- Štefánik, D.–Matejovičová, J., 2020, Expozícia znečisťujúcimi látkami PM_{2,5} na území Slovenska v r. 2017 a počet predčasných úmrtí. Meteorologický časopis. č. 1. http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/MC_2020-1.pdf.
- WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment. 2005, 11–12. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
- Yen, Z.-C.–Yang, C.-Y.–Mena, K.D.–Cheng, Y.-T.–Yuan, C.-S.–Chen, P.-S., 2019, Jumping on the bed and associated increases of PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, airborne endotoxin, bacteria, and fungi concentrations. Environmental Pollution. 799–809. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118327064>.
- Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem v roce 2019, Kvalita ovzduší v České republice - Benzo[a]pyren, 2020, ČHMÚ, s. 46. https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_2_BaP_v1.pdf.
- Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem v roce 2020, Kvalita ovzduší v České republice - Benzo[a]pyren, 2021. ČHMÚ, s. 46. https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_04_2_BaP_v3.pdf.

INFORMÁCIE INFORMATION

ZHODNOTENIE ROKOVANÍ NA KLIMATICKEJ KONFERENCII V GLASGOWE

Klimatická konferencia v Glasgowe sa konala po ročnom odklade spôsobenom pandémiou COVID-19. Krajiny prijali dokument pod názvom Glasgowský klimatický pakt, čo je vlastne séria troch navzájom sa prekrývajúcich rozhodnutí. Po prvýkrát v histórii je vo výslednom dokumente referencie na znižovanie emisií z uhlia a zastavenie neefektívnych dotácií na fosílnu palivá.

V poradi 26. Konferencia zúčastnených strán Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy sa konala v dňoch 31. 10. – 13. 11. 2021 v škótskom meste Glasgow. Účasť na konferencii bola podmienená veľmi prísnyimi epidemičnými opatreniami vzhľadom na pandémiu. Napriek tomu bolo registrovaných približne 5 tisíc účastníkov. V jednom momente sa mohlo v centre pohybovať do 10 tisíc osôb. Toto číslo bolo naplnené každý deň rokovaní.

Na konferencii v dňoch 1. a 2. 11. prebiehalo stretnutie svetových lídrov, ktorí oznámili kľúčové záväzky, prísľuby a iniciatívy. Ambicióznejšie plány znižovania emisií predstavili spomedzi najväčších emitentov najmä EÚ a USA. Tohto stretnutia sa zúčastnila slovenská prezidentka.

Od 3. 11. do 12. 11. pokračoval COP26 expertnými rokovaniami na technickej úrovni. Tímy zmluvných strán COP-u pracovali na textoch rozhodnutí a záverov, a na rozsiahly balík právne záväzných metodických príručiek a tabuliek. Išlo o cca 200 strán dokumentov, ktoré boli schválené až večer, v posledný deň konferencie t. j. 12. 11. 2021.

Od 8. do 10. 11. prebiehal ministerský segment. Jeho cieľom bolo usmerniť expertné diskusie a rokovania expertných tímov k jednotlivým témam. Za SR sa ministerského segmentu zúčastnil minister ŽP Ján Budaj (8. 11.). Ministri svojím aktívnym prístupom prispeli k úspechu konferencie a k schváleniu konečných rozhodnutí, ktoré boli neúspešne predkladané od roku 2017 (COP v Poľských

Katoviciach) a súviseli s budúcim rámcom transparentnosti pod Parížskou dohodou.

Jednotlivé časti dokumentu obsahujú záväzky a opatrenia pre vedu a výskum, adaptácie, financovanie adaptácií, mitigácie, klimatické financovanie, transfer technológií, budovanie kapacít, straty a škody, implementácie Parížskej dohody v oblasti reportovania, review a započítavania a kooperácie. Krajiny sa nedohodli na ďalšom osude Kjótskeho protokolu (ktorý stratil platnosť k 31. 12. 2020 a bol nahradený Parížskou dohodou).

Nás ako Odbor Emisie a biopalivá najviac zaujímala časť týkajúca sa nastavenia budúceho rámca transparentnosti pod Parížskou dohodou. Napriek tomu, že technické metodické príručky (MPG = Modalities Procedures and Guidelines) boli schválené od COP24 (2017) v Katoviciach, dôležité rozhodnutie o ich implementácii doteraz chýbalo.



S radosťou môžeme teda konštatovať, že skoro po piatich rokoch, aj našou intenzívnou prácou v EÚ tíme expertov, sme vyrokovali CMA rozhodnutie zatiaľ v podobe návrhu (zatiaľ bez čísla):

- -/CMA.3 pod názvom „Návod na prevádzku MPG pre Rozšírený rámec transparentnosti podľa článku 13 Parížskej dohody“ (Guidance for operationalizing the modalities, procedures and guidelines for the enhanced transparency framework referred to in Article 13

of the Paris Agreement) <https://unfccc.int/documents/311138>. Rozhodnutie má 56 strán a obsahuje aj reportovacie tabuľky pre emisie skleníkových plynov.

- Rozhodnutie nadväzuje na rozhodnutie -/CMA.3 podľa článku 6.2 Parížskej dohody o kontrole a kooperatívnom prístupe k dodržiavaniu záväzkov pri plnení národných cieľov (Guidance on cooperative approaches referred to in Article 6, paragraph 2, of the Paris Agreement) <https://unfccc.int/documents/310510>. Rozhodnutie tiež definuje budúcu podobu štruktúrovaného obsahu, definuje započítavanie a review.

Janka Szemesová
SHMÚ, Bratislava

MONITORING SUCHA VO VEGETAČNOM OBDOBÍ 2021

Meteorologické sucho

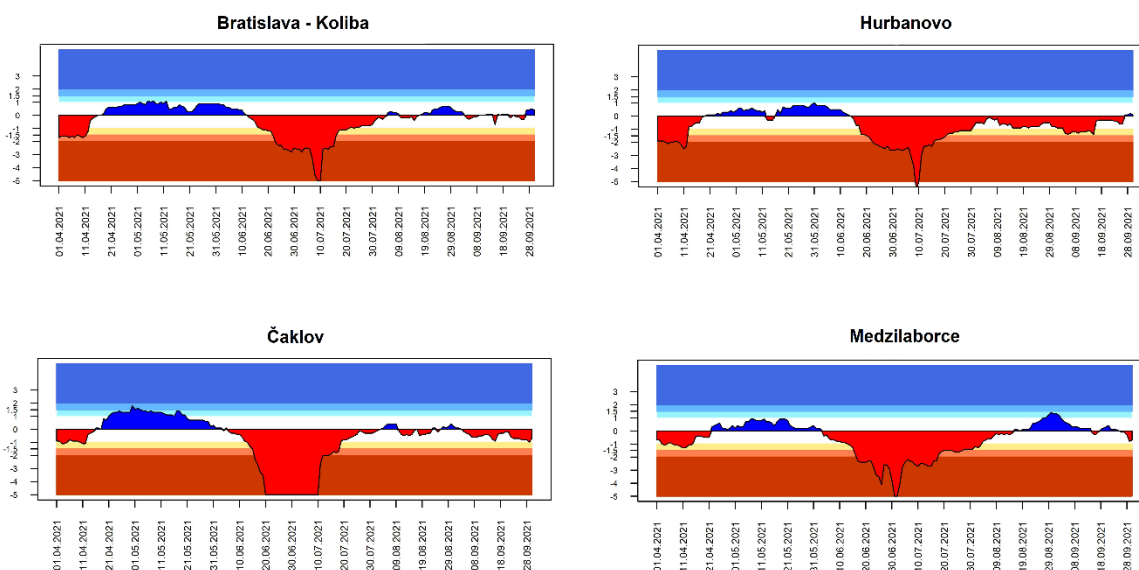
Veľmi suché podmienky z konca marca pretrvali na juhozápadnom a juhovýchodnom Slovensku až do začiatku apríla. V prvom aprílovom týždni bolo extrémne sucho v Hurbanove a Žihárči. Situácia sa nasledujúci týždeň ešte zhoršila a 11. 4. 2021 bolo extrémne sucho už na 9 staniciach. Okrem Podunajskej nížiny, SPEI index klesol pod hranicu -2 aj v Topoľčanoch, Sliači a v Žiari nad Hronom. V polovici apríla nastalo postupné zlepšenie. Na konci apríla bolo mierne sucho už len v Žiari nad Hronom. V priebehu mája prevažovali normálne až mierne vlhké podmienky. V druhej polovici mája bolo veľmi vlhko najmä na strednom a severozápadnom Slovensku. Po vlhkom máji 2021 boli podmienky na začiatku júna prevažne normálne až mierne vlhké. Počas júna sa situácia postupne zhoršovala. Najskôr sa sucho začalo šíriť na východnom Slovensku. Na začiatku poslednej júrovej dekády (od 20. 6.) bolo podľa indexu SPEI veľmi až extrémne sucho už na väčšine Slovenska. Extrémne sucho sa vyskytovalo na takmer všetkých stani-

ciach na východnom Slovensku, ako aj na troch staniciach na strednom Slovensku. O týždeň neskôr (27. 6.) boli veľmi až extrémne suché podmienky na celom území Slovenska, pričom už prevažovalo extrémne sucho. Veľmi nepriaznivá situácia pokračovala ešte aj v júli. V tomto druhom letnom mesiaci sa však podmienky postupne zlepšovali. Extrémne sucho skončilo až 25. 7. na stanici Senica, ktorá bola ako posledná stanica, kde extrémne sucho pretrvalo najdlhšie. Na viacerých staniciach sme zaznamenali hodnoty SPEI a SPI hlboko pod hranicou -2 . Na najnižšiu možnú hodnotu -5 kleslo SPEI na staniciach Medzilaborce, Čaklov, Hurbanovo a Bratislava - Koliba, pričom najdlhšie bola táto hranica dosiahnutá na stanici Čaklov (Obr. 1). V auguste boli podmienky prevažne normálne až mierne vlhké. Veľmi sucho bolo ešte krátkodobo vo Švedlári. Na niektorých staniciach však bolo v auguste veľmi vlhko až extrémne vlhko. Vlahové podmienky boli totiž podmienené výraznými lokálnymi zrážkami. Počas septembra prevažovali normálne vlahové podmienky a len lokálne bolo mierne sucho. Podľa indexu SPI bolo ešte na začiatku septembra veľmi sucho v Hurbanove. Podľa indexu CMI bolo leto priaznivé. Mierne sucho bolo len na niekoľkých staniciach. Najnižšie hodnoty CMI boli v Medzilaborciach $-1,8$ a v Hurbanove $-1,7$.

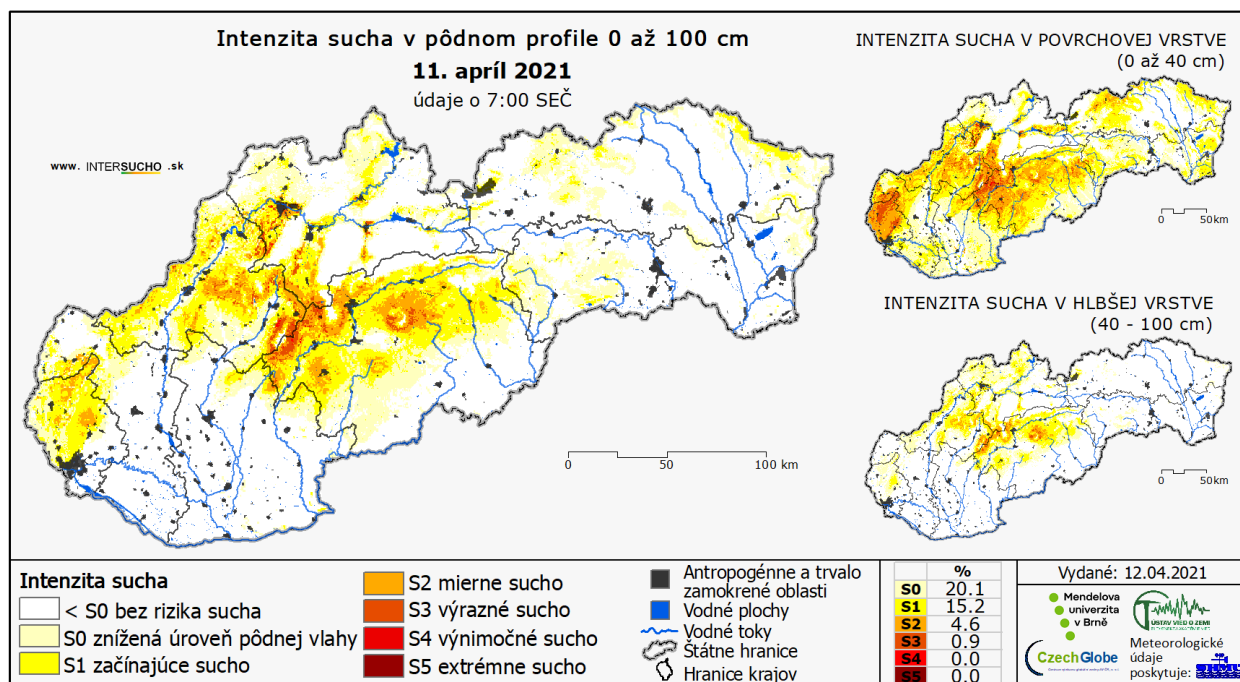
Pôdne sucho

Mierne sucho na prelome marca a apríla sa vyskytovalo prevažne v povrchovej vrstve a zasahovalo najmä oblasť Záhoria, Malých Karpát, Pohronia a pohoria na rozhraní stredného a západného Slovenska. Situácia sa ešte zhoršila v prvej polovici apríla. V termíne 11. 4. 2021 bolo výrazné sucho v celom pôdnom profile v oblasti pohoria Vtáčnik, Pohronský Inovec, Slovenské rudohorie, ale tiež lokálne v Turčianskej kotline a Rajeckej doline (Obr. 2). V povrchovej vrstve výrazné sucho zaberalo ešte väčšiu plochu, približne 3 % celkového územia, a nachádzalo sa, okrem už spomínaných oblastí, aj na Záhorí a v oblasti Malých Karpát.

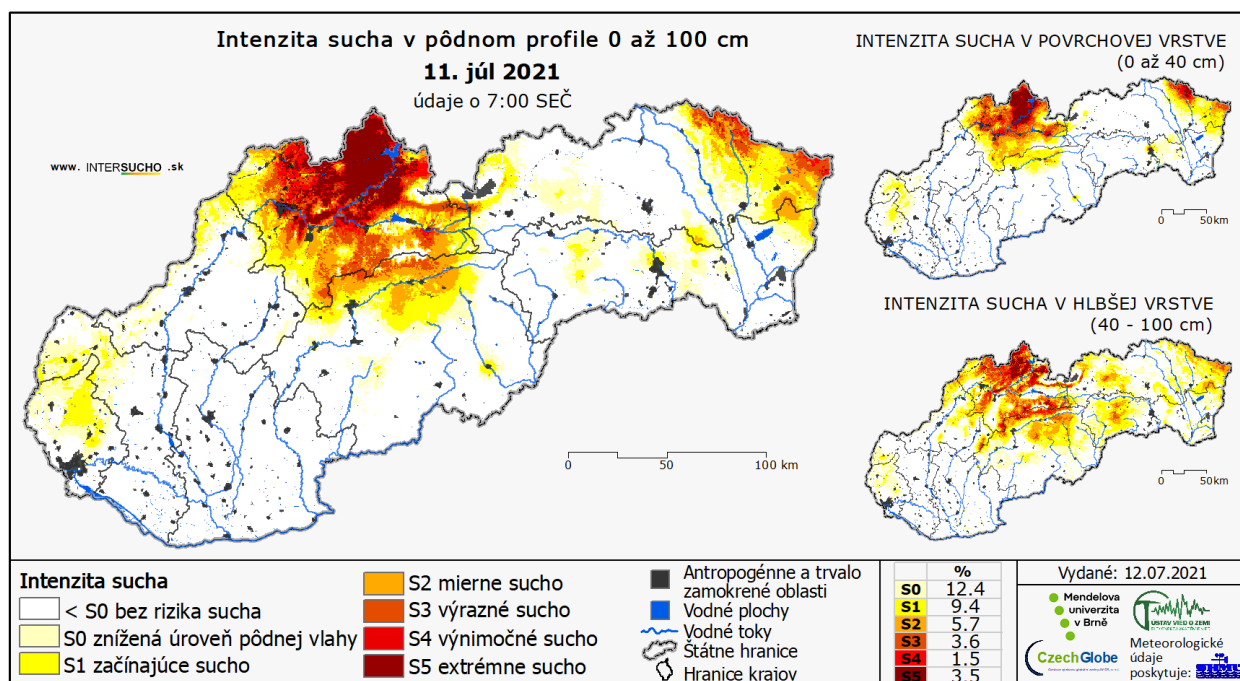
Obrázok 1. Priebeh indexu SPEI na štyroch vybraných meteorologických staniciach počas vegetačnej sezóny 2021.



Obrázok 2. Intenzita sucha dňa 11. 4. 2021.



Obrázok 3. Intenzita sucha dňa 11. 7. 2021.



V tomto termíne bolo relatívne nasýtenie na Záhorí v povrchovej vrstve nižšie ako 10 %. Deficit pôdnej vlhky bol najviac –40 mm ojedinele na strednom a západnom Slovensku. Od polovice apríla bola situácia postupne lepšia a v priebehu mája už väčšina Slovenska bola bez rizika sucha.

Podobne ako pri meteorologickom suchu, aj pôdne sucho sa na začiatku leta ešte nevyskytovalo. Situácia sa počas júna postupne zhoršovala a dňa 20. 6. bolo výrazné až

extrémne sucho už miestami, najmä v severnej polovici Slovenska a v Slovenskom rudohorí. V ďalších týždňoch sa na väčšine Slovenska situácia stabilizovala, prípadne pomaly zlepšovala, ale v priebehu júla sa extrémne sucho stále rozširovalo v oblasti Oravy, Kysúc a Horného Považia. Najväčšiu rozlohu zaberalo extrémne sucho 11. 7., a to 3,5 % celkovej plochy Slovenska (Obr. 3). V druhej polovici júla sa situácia zlepšila aj na severe stredného Slovenska

a sucho postupne ustúpilo. V auguste bolo už len ojedinele začínajúce sucho na juhozápade a juhovýchode Slovenska. Mierne sucho ostalo na konci augusta lokálne v okolí Komárna a Nových Zámkov. Deficit pôdnej vlhky klesol v lete na najnižšiu hodnotu –80 až –100 mm, a to dňa 11. 7. na Orave. Na ostatnom území Slovenska bol deficit najviac –60 mm. Relatívne nasýtenie dosiahlo hodnoty pod 10 % na Záhorí, na juhu a juhozápade Podunajskej nížiny a lokálne aj na Východoslovenskej nížine. Zatiaľ čo v priebehu júla a augusta sa nasýtenie na veľkej časti Slovenska postupne zvyšovalo, na konci leta bolo ešte stále nasýtenie pod 10 % v okolí Hurbanova. Nasýtenie v intervale 10–20 % bolo v tomto termíne na približne 1/10 územia. V septembri sa výrazné sucho vyskytlo ojedinele na juhovýchodnom Slovensku. Relatívne nasýtenie ostalo v spodnej vrstve pôdy 40–100 cm pod hranicou 10 % ešte lokálne na juhu Podunajskej a Východoslovenskej nížiny, ako aj na Honte.

Dopady sucha

Začiatok vegetačného obdobia 2021 sa vyznačoval na území Slovenska výrazne premenlivým, pomerne chladným a veterným charakterom počasia. To spôsobilo neskorší nástup jarných prác na poliach (hnojenie ozimín, seba jarín) a v ovocných sadoch. Deficit zrážok, silný vietor i výrazné denné amplitúdy teploty vzduchu napomáhali k postupnému vysušaniu vrchnej vrstvy pôdy a tvorbe prísušku najmä na ľahkých pôdach Podunajskej nížiny a Záhoria, na exponovaných svahoch a náveterných stranách. Koniec marca a začiatok apríla sa tak niesol v znamení začínajúceho sucha v povrchovej vrstve, hlavne v okresoch Dunajská Streda, Komárno, Nitra, Piešťany, Trenčín, či Lučenec, čo malo za následok problém s klíčením osív. Pomaly vzhádzal najmä jačmeň, mak a pšenica. V severných okresoch Slovenska robilo starosti poľnohospodárom vypadávanie ozimín a mierne poškodenie maku ozimného. Prvé obavy z nástupu suchej a veternej jari vyjadrovali aj lesníci vo svojich reportoch.

V apríli veľké teplotné výkyvy a nočné mrazy ešte viac spomalili celkový vývoj vegetácie. V Levickom okrese viacdnňový prízemný mráz spôsobil popraskanie stoniek repky ozimnej. V Tmavskom, Nitrianskom a Prievidzskom okrese poškodili mrazy kvety ovocných stromov, hlavne na marhuliach, broskyniach a nektárinkách. Na Spiši hlásili stagnovanie porastov ozimín. Pretrvávajúce chladné počasie intenzívne stresovalo najmä klíčiace a mladé rastliny. Reportéri hlásili problémy s aplikáciou prípravkov na ochranu rastlín, či so sejbou slnečnice, sóje a kukurice. Intenzívne zrážky na niektorých miestach severného a severovýchodného Slovenska negatívne ovplyvnili realizáciu ďalších poľných prác.

Kladné denné i nočné teploty vzduchu na začiatku mája čiastočne urýchlili vývoj už aj tak oneskorenej vegetácie. Ten bol najlepšie viditeľný na výraznom posune kvitnutia ovocných stromov a viniča. Na Považí a juhozápade krajiny hlásili reportéri vplyvom silného vetra vytváranie tvrdého dvojcentimetrového prísušku, cez ktorý mala problém preraziť kukurica na zrno a siláž. Prísuškom limitované boli aj malé povzchádzané rastliny cukrovej repy. Atmosférické zrážky v polovici mája doplnili chýbajúcu vlahu v pôdnom horizonte na celom území Slovenska.

Doplnenie pôdnej vlhky pomohlo najmä husto siatym obilninám, strukovinám, repke ozimnej a cukrovej repke. Avšak, porasty slnečnice a kukurice zaostávali v raste a po zrážkach zostali silne zaburinené. Početné prehánky a trvalý dážď zaplavili parcely, pričom na niektorých miestach výrazne poškodili porasty sóje, kukurice a slnečnice vyplavením zasiatého osiva. Pokračujúce chladné a daždivé počasie komplikovalo až zastavilo všetky agrotechnické operácie na poliach a v sadoch. Na konci mája 2021 reportéri národnej reportovacej siete hlásili meškanie so sejbou a jarnými prácami, málo plodov na ovocných stromoch, ale najmä výrazne oneskorený vývoj vegetácie o 14 až 18 dní, v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi. Lesníci z regiónov Slovenska hlásili miestami rozmnoženú pôdu v lesnom teréne a mierny vzostup hladiny vodných tokov. Dobré podmienky na ujetie a rozvíjanie sadeníc lesných drevín boli hlásené najmä z južných okresov Slovenska.

Začiatkom leta, aj napriek upršanému a menej teplému máju, hlásili reportéri začínajúce, miestami až výrazné sucho v okresoch Bardejov, Spišská Nová Ves, Vranov nad Topľou, Prievidza, Topoľčany, Dunajská Streda a Zvolen. Nerovnomerné rozloženie atmosférických zrážok búrkového charakteru, ale hlavne vysoká teplota vzduchu prispeli k rozšíreniu sucha skoro na celé územie Slovenska, čo malo za následok vädnutie a nedostatočný vývin rastlín, predčasné dozrievanie plodín, zahorenie trávnatých porastov po kosbe, zhadzovanie plodov ovocných stromov, tvorbu prísušku a puklín v pôdach. Počasie však umožňovalo žatvu ozimín. Koncom júna sa na juhozápadnom Slovensku začalo sucho prejavovať aj na lesných porastoch. Lesníci hlásili pukliny v pôdach a uschýnanie stromov z tohtoročnej jarnej výsadby, pričom medzi prvými boli hlásené suchom postihnuté topole na ostrove Sihoť v Bratislavskom kraji.

V júli na poliach prebiehala žatva obilnín a zber repky, ktoré občas oddaľovala intenzívna búrková činnosť spojená so silným nárazovým vetrom a krupobitím. Následkom teplého a veterného počasia pretrvávalo sucho na západnom, juhu stredného a východnom Slovensku. Sucho malo vplyv na porasty kukurice na siláž, ktorým sa skrúcali listy a zaostávali v raste. Spomalený rast zaznamenali poľnohospodári aj pri sóji, ďateline a zelenine. Ovocinári hlásili malé plody na ovocných stromoch, pričom najmä hrušky a slivky zhadzovali svoje plody. Od druhej polovice júla začali pribúdať hlásenia lesníkov o vyschnutých sadenicích z tohtoročného zalesňovania. Jednalo sa najmä o hlásenia z južných okresov Slovenska, kde miestami dosahovala strata 10 až 20 %, a to najmä na južných a juhozápadných expozíciách. Sadenice trpeli vädnutím mladých výhonkov, spálou letorastov, hrdzavením, hnednutím a žltnutím listov. Najviac postihnuté dreviny boli dub, borovica, smrek, agát, topoľ a jaseň. Sucho sa najviac prejavilo na umelo zalesnených otvorených plochách, kde dochádzalo k čiastočnému vysychaniu sadeníc. Na čiastočne zatienených plochách pod materským porastom boli prejavy sucha badateľné len miestami. Na konci júla najväčšie straty ujatosti z jarnej výsadby sadeníc hlásili lesníci na západnom a východnom Slovensku. V Podunajskej nížine hlásili stratu sadeníc duba od 30 do 70 %. Vplyvom dlhotrvajúcich horúcich dní dochádzalo na otvorených plochách k postupnému vysychaniu už ujatých jedincov z minuloročných a tohtoročných výsa-

dieb i starších porastov zalesnených pred 2–3 rokmi. V okrese Pezinok vyschla jarňá výsadba na 50–55 %, pričom sucho sa prejavilo na poklese hladín vodných tokov aj na vyschnutí lokálneho občasného jazera. Na Považí hlásili lesníci 30 % stratu výsadby z minuloročného zalesňovania a viditeľné vädnutie výhonkov smrek. Na strednom Slovensku hlásili vysychanie sadeníc najmä na teplých južných svahoch, a to najmä jedle z jarňého zalesňovania. V rámci severného Slovenska hlásili stratu sadeníc spôsobenú suchom na úrovni 20 % a malé prírastky na stromoch. Na Východoslovenskej nížine dosahovala ujatnosť listnatých sadeníc 60–70 %, ihličnatých sadeníc len 20–25 %.

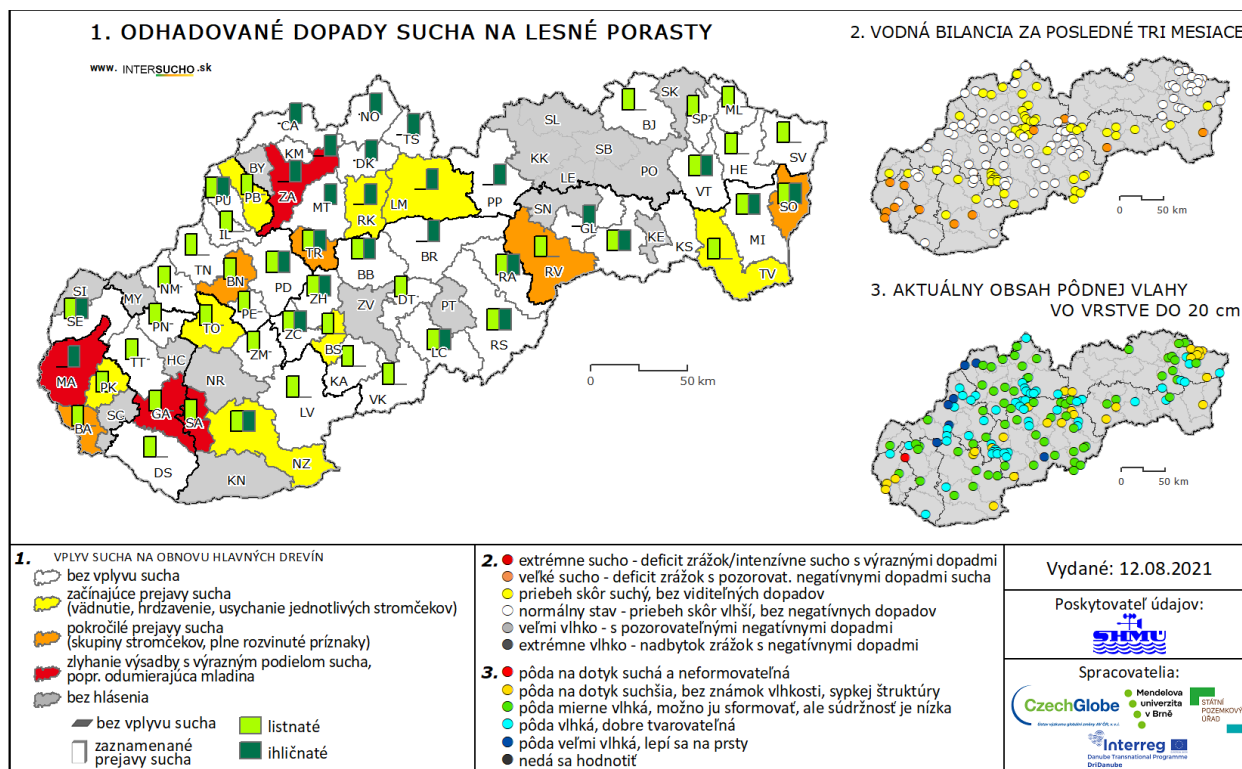
V priebehu augusta sa vyskytli výdatné atmosférické zrážky, ktoré oddiaľovali žatvu, no pár teplých dní dopomohlo k jej ukončeniu na väčšine územia. Poľnohospodári sa zamerali na prípravu pôdy na sebu ozimín a repky ozimnej. Zrážky ovplyvnili kvalitu zeleniny (praskanie rajčín, zahŕňvanie tekvic), výskyt plesní (najmä plesne zemiakovej) i samotný zber plodín. Výrazne dopomohli úrode ovocia, viniča a okopanín. Od druhého augustového týždňa hlásili reportéri výrazné sucho na Podunajskej nížine a Krupinskej planine, s negatívnymi prejavmi na cukrovej repe a vzhádzaní repky ozimnej pre budúcoročnú úrodu (Obr. 4). Ďalšími hlásenými prejavmi sucha v tomto období boli polo-
vičný rast rastlín, zakrpatená kukurica, popraskaný povrch pôdy a malé plody na ovocných stromoch. Zber ovocia značne poznačila aj lokálna búrková činnosť. Aj v auguste hlásili reportéri lesníckeho dotazníka vädnutie a vysychanie sadeníc buka,

smreka, suchý povrch pôdy a toky s výrazne zníženým stavom vodných hladín, najmä v Slovenskom rudohorí. V Nitrianskej a Trnavskej pahorkatine bolo viditeľné usychanie sadeníc z jarnej výsadby, ako aj prirodzeného zmladenia buka na južných a západných svahoch. Po miestne odumieranie bolo okrem buka hlásené aj pri dube. S poklesom teploty vzduchu a pribúdajúcimi zrážkami koncom leta už neboli zaznamenané prejavy sucha na lesné porasty. Aj napriek vysokej ujatosti sadeníc z jarnej výsadby i z prirodzeného zmladenia na jar došlo vplyvom počasia v prvých dvoch mesiacoch leta k ich značnému poškodeniu až vyschnutiu (Obr. 5).

Obrázok 5. Uschnutá sadenica smreka obyčajného (Foto: I. Špilda).



Obrázok 4. Odhadované dopady sucha na lesné porasty dňa 12. 8. 2021.



V septembri prebiehali jesenné práce na poliach, v sadoch a viniciach. V prvej polovici mesiaca hlásili poľnohospodári vplyvom sucha slabé vzhádzanie repky v okresoch Levice, Komárno, Piešťany a Vranov nad Topľou. Červivé, nedozreté a hnijúce ovocie na stromoch, popadané plody jadrovín boli hlásené najmä ovocinármi z okresov Topoľčany, Prievidza a Nové Mesto nad Váhom. Prejavu sucha v lesoch (popraskaný povrch pôdy, znížený stav vodných tokov a slabý výskyt húb v lesoch) boli hlásené len z južných okresov Slovenska. V polovici septembra atmosférické zrážky citelne zlepšili zásobu vlhky v pôdnom profile a napomohli tak s prípravou pôdy pod oziminy. Náhle ochladenie však nepriaznivo ovplyvnilo už zasiate oziminy (repku ozimnú a mak ozimný), ktoré boli vo fáze vzhádzania a dozrievajúce porasty kukurice, slnečnice a sóje. Koniec septembra počasie opäť prialo všetkým zberovým aktivitám poľnohospodárov a ovocinárov. Minimálne zrážky umožnili pokračovať v zbere zemiakov, silážnej kukurice, ako aj osiať ďalšie plochy ozimín, najmä v severných častiach Slovenska.

Maroš Turňa
SHMÚ, Bratislava

VYDANÁ PODROBNÁ SPRÁVA O SILNOM TORNÁDE NA MORAVE V JÚNI 2021

V tesnej blízkosti slovenských hraníc sa 24. júna 2021 na juhovýchode Moravy vyskytlo mimoriadne silné tornádo (Obr. 1). Na Břeclavsku a Hodonínsku zasiahlo osídlené oblasti a zapríčinilo tak početné zranenia a vyžiadalo si 6 ľudských životov. Zároveň spôsobilo obrovské škody – na demoláciu bolo určených cca 200 domov a celkové škody boli podľa predbežných odhadov vyčíslené na cca 15 miliárd českých korún (600 mil. €). Vzhľadom na extrémnu intenzitu javu a jeho dopad na socioekonomickú sféru odborníci z viacerých krajín prípad podrobne zanalyzovali. Pod vedením Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) vznikla medzinárodná pracovná skupina, ktorá v októbri 2021 vydala podrobnú správu o tejto udalosti. Členom skupiny sú, okrem ďalších organizácií z Českej republiky, za Slovenský hydrometeorologický ústav Miroslav Šinger z Odboru meteorologických predpovedí a výstrah, ako aj European Severe Storms Laboratory (ESSL) a Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Správu možno nájsť na webových stránkach ČHMÚ, prípadne na https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/Souhrnna_zprava_tornado_24.6.2021.pdf.

Pri takto extrémnych a veľmi málo pravdepodobných poveternostných javoch je štandardným postupom podrobná analýza situácie, ktorá začína prieskumom následkov priamo v teréne. Pri posudzovaní vlastností tornáda je terénny prieskum škôd zároveň jediná možnosť, ako popísať jeho vlastnosti, pretože vzhľadom na typické rozmery a trvanie tornád je len málo pravdepodobné, že by tornádo bolo zachytené profesionálnou meteorologickou stanicou. Navyše, v prípade prechodu tornáda cez meteorologickú

stanicu by došlo k poškodeniu meracích prístrojov. Touto metódou sa postupovalo aj v prípade tornáda na Morave a prieskum začal hneď na druhý deň po udalosti. Kvôli mimoriadnemu plošnému rozsahu, ako aj závažnosti spôsobených škôd, prieskum trval cca jeden týždeň a to napriek tomu, že sa ho zúčastnilo viacero tímov a sústredil sa na najviac zasiahnuté oblasti. Prieskum pozostával z niekoľkých pozemných tímov, ktoré dokumentovali škody na jednotlivých budovách, ako aj snímkovania z lietadiel a dronov. Škody boli posudzované na základe Medzinárodnej Fujitovej stupnice (International Fujita scale), ktorá je lepšie prispôbená európskym stavbám a konštrukciám ako pôvodná Fujitova škála. Na základe nej bolo medzinárodnou pracovnou skupinou identifikovaných viacero škôd, ktoré odpovedali stupňu F4 (príklady na Obr. 2 a 3), druhému najvyššiemu na šesťdielnej stupnici. Tým sa zaradilo medzi najsilnejšie zaznamenané tornáda v Európe, pričom v rámci územia Česka a Slovenska ide o vôbec najsilnejšie tornádo. Tornádo F4 sa v Európe naposledy vyskytlo v júli 2015 na severovýchode Talianska.

Tornádo na juhovýchode Moravy spôsobilo najväčšie škody v obciach Hrušky, Moravská Nová Ves, Mikulčice, Lužice a Hodonín, za ktorým zaniklo. Za cca 40 minút prešlo až 27 km a šírka škôd sa postupne zužovala (Obr. 4). Na začiatku dosahovala až 2 km, ale v tej fáze vývoja tornáda bolo náročné odlišiť škody spôsobené tornádom a downburstmi.

Obrázok 1. Tornádo na južnej Morave, 24. 6. 2021 (foto: D. Herka).



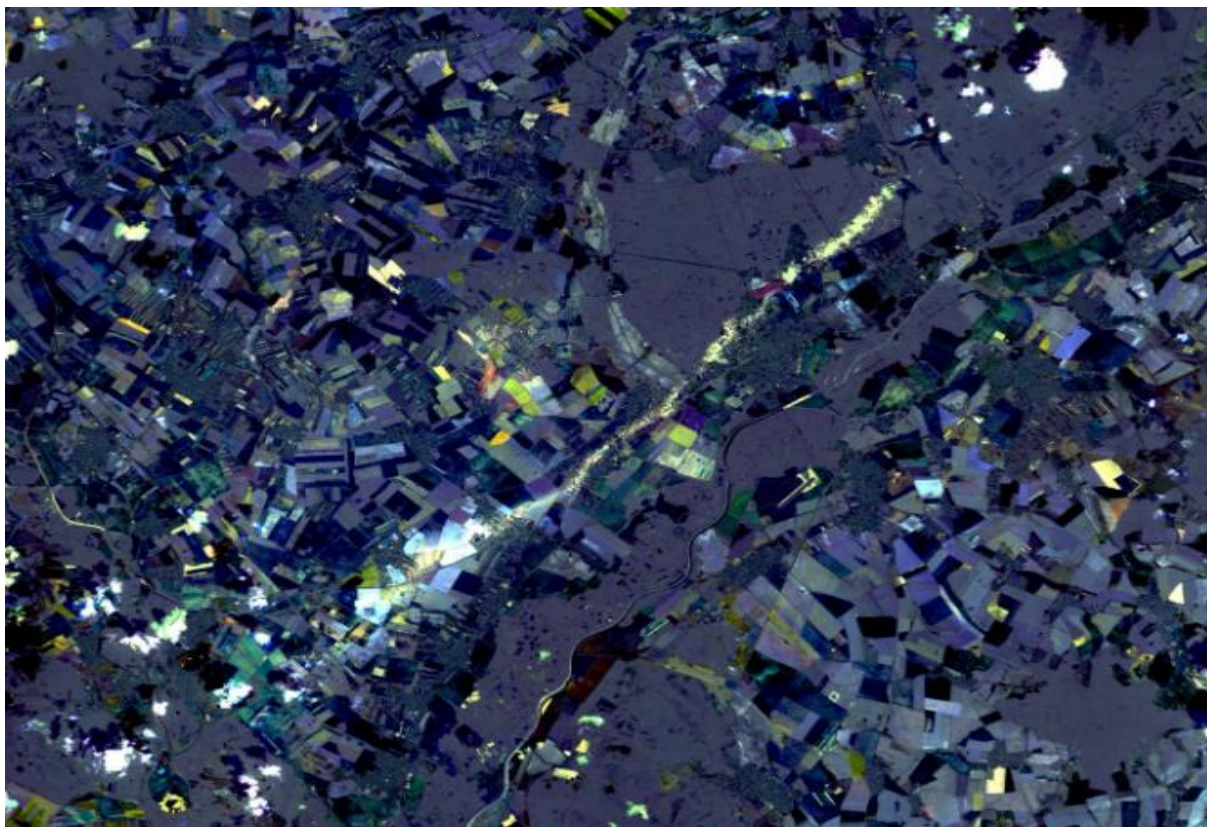
Obrázok 2. Vľavo: záber z leteckého prieskumu (foto: Lukáš Ronge); vpravo: detail zdevastovaného domu (foto: Tomáš Púčík) označený šípkou na obrázku vľavo.



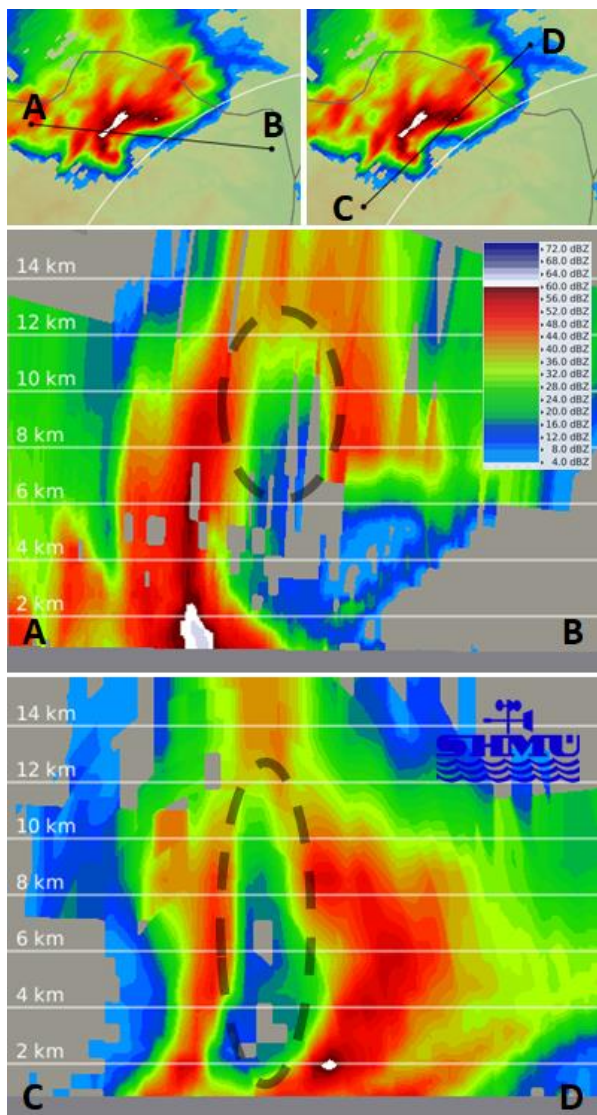
Obrázok 3. Vľavo: vážne poškodený obytný dvojdom s takmer úplne zničeným vrchným poschodím; vpravo: ukážka pôsobenia extrémne rýchlo letiacich projektilov do steny budovy - práve tieto trosky sú najväčším rizikom pri tornádach (foto: M. Šinger).



Obrázok 4. Stopa tornáda (žltou farbou) podľa družice Sentinel-2 na RGB družicovej snímke vypočítanom ako rozdiel jednotlivých kanálov pred a po tornáde, spracovanie ČHMÚ.



Obrázok 5. Vertikálny rez supercely s mimoriadne silným výstupným prúdom, ktorého znakom je rozsiahla oblasť slabej rádiolokačnej odrazivosti siahajúca až do výšky cca 13 km, obklopená vysokými hodnotami odrazivosti - BWER označená elipsou (z ang. Bounded Weak Echo Region). Dáta SHMÚ, rádiolokačná odrazivosť, radar Malý Javorník, 24. 6. 2021, 16:30 UTC, vertikálny rez naznačený na vrchných obrázkoch úsečkami AB, CD na podklade CAPPI 2 km.



Obrázok 6. Obrovské krúpy s priemerom 9 cm, Rakúsko, Walterskirchen, 24. 6. 2021, dáta ESWD (European Severe Weather Database).



Tornádo na Morave bolo spojené so supercelou (Obr. 5), ktorá vznikla v Rakúsku a priniesla aj mimoriadne veľké krúpy (Obr. 6). Správa stručne popisuje fyziku vzniku takýchto supercelárnych tornád a rozoberá podmienky v troposfére, v danej situácii. Obsahuje základnú analýzu meraní – priamych aj dištančných (radary a družice), ako aj ďalších dostupných údajov, na základe čoho hodnotí operatívne možnosti predpovede situácie. Je v nej možné nájsť aj ďalšie údaje, ktoré situáciu analyzujú podrobnejšie, no v operatívnej meteorologickej prevádzke dostupné neboli. Správa hodnotí aj významnosť udalosti z klimatologického hľadiska, a v krátkosti zhŕňa aktuálne vedecké poznatky ohľadne možnosti výskytu podobne silných tornád v oblasti strednej Európy, v podmienkach prebiehajúcej klimatickej zmeny.

Hoci výskyt ničivého tornáda so silou F4-F5 je v oblasti strednej Európy veľmi málo pravdepodobný, tornádo na Morave jednoznačne preukázalo, že táto možnosť je reálna. Pravdepodobnosť výskytu akéhokoľvek tornáda je však natoľko malá, že väčšina obyvateľstva počas svojho života žiadne tornádo neuvidí, pričom silné tornádo má ešte rádovo nižšiu pravdepodobnosť výskytu. Správa identifikuje množstvo výziev súvisiacich s daným prípadom alebo všeobecne problematikou silných tornád. Z hľadiska predpovedného, tento prípad nespĺňal všetky podmienky, ktoré sa bežne spájajú s tornádami takejto intenzity. Supercela sa formovala nad Rakúskom, pričom ČHMÚ nemal k dispozícii merania z automatických staníc z tejto oblasti. Navyše bola supercela lepšie detegovaná radarom z Malého Javorníka, keďže merania zo Skaliek boli utlmené ďalšími búrkami medzi radarom a supercelou. Tieto skutočnosti podtrhujú nutnosť lepšej cezhraničnej spolupráce a výmeny dát. V neposlednom rade tento prípad ukazuje aj potrebu lepšej komunikácie meteorologických rizík verejnosti, ktorá často nevedela, ako sa má zachovať pri pohľade na bližiace sa tornádo.

Miroslav Šinger, SHMÚ, FMFI UK
Tomáš Púčik, ESSL

MEDZINÁRODNÁ PYRHELIOMETRICKÁ KAMPAŇ IPC XIII

V dňoch 27. 9. 2021 až 15. 10. 2021 sa vo svetovom radiačnom centre WMO (WRC), ktoré sa nachádza v Physikalisch-Meteorologisches Observatorium v Davose (PMOD), konala trinásť pyrheliometrická kalibračná kampaň IPC XIII. Národné meteorologické služby, komerčné organizácie (výrobcovia meteorologických prístrojov, či fotovoltaičných zariadení), vedecko-výskumné inštitúcie a ďalší záujemcovia mali možnosť kalibrácie svojich absolútnych referenčných prístrojov na svetovú referenciu pre meranie slnečného žiarenia WRR (World Radiometric Reference).

WRR predstavuje skupina 6 absolútnych pyrheliometrov (World Standard Group - WSG). Pyrheliometrická kampaň sa môže uskutočniť vtedy, ak správne pracujú aspoň 4 zo šiestice prístrojov WSG. Pre kalibráciu sa môžu použiť iba merania, kedy v oblasti 8° okolo Slnka nie sú oblaky, optická hrúbka aerosólu vo vizuálnej oblasti spektra AOD₅₀₀ je menšia ako 0,12 a vzhľadom na to, že väčšina absolút-

nych pyrliometrov používa otvorenú apertúru, rýchlosť vetra musí byť menšia ako $2,5 \text{ m s}^{-1}$.

Paralelne s meraniami WSG prebiehali merania Kryogénneho absolútneho pyrliometra, CSAR (Cryogenic Solar Absolute Radiometer) spolu s jednotkou na kontrolu stability priepustnosti vstupnej optickej sústavy prístroja CSAR MITRA (Monitor to measure the Integral TRANsmittance). CSAR by mal v budúcnosti nahradiť WSG.

Kalibrovalo sa 113 pyrliometrov z 32 inštitúcií z 23 krajín. V rámci podujatia bol kalibrovaný aj referenčný prístroj SHMÚ: absolútny dutinový pyrliometer AHF AWX 37814 s operačnou jednotkou SN 11143. Kalibračné merania boli vykonávané každý deň, pokiaľ to umožňovali meteorologické podmienky.

Počas dní, keď nebolo možné vykonávať merania, prebiehalo v PMOD Medzinárodné sympóziu zamerané na tieto tematické oblasti: Meranie radiačných tokov a kalibračné metódy, Využitie solárnej energie, Prístroje a prístrojové inovácie, Radiačné siete, Vzťahy Slnko-Zem.

Viaceré prezentácie boli orientované na problematiku kritérií pre referenčný pyrliometer triedy AA podľa normy ISO 9060:2018, ktoré zatiaľ nespĺňa žiadny bežne dostupný prístroj. Zástupcovia metrologických inštitúcií a kalibračných laboratórií ako PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) a SRML (Solar Radiation Monitoring Lab., USA) sa zaoberali problematikou prepojenia kalibračných metód a metrologického systému odporúčaného WMO a normami ISO, zabezpečenia nadväznosti meraní radiačných tokov na sústavu SI a na splnenie ďalších certifikačných kritérií.

Ďalšia skupina prezentácií bola zameraná na regionálne, či národné radiačné centrá a organizáciu sietí na meranie charakteristík slnečného žiarenia. Prezentované boli aj metódy spracovania dlhodobých meraní charakteristík slnečného žiarenia alebo kalibračných modelov pre pyrometre, ktorých snímačom je fotodióda. Zaujímavá bola informácia o aerologickom meraní vertikálnych profilov zložiek radiačnej bilancie na Observatóriu DWD R. Assmanna v Lindenbergu (MOL RAO), kde sa na budúci rok uskutoční medzinárodné porovnanie aerologických systémov.

Pre radiačné modely, ale aj pre posúdenie vplyvu zmien slnečnej aktivity na podnebie na Zemi, je potrebné poznanie premenlivosti slnečného žiarenia nad atmosférou Zeme (Total Solar Irradiance TSI). Účastníci prezentovali výsledky meraní extraterestriálneho slnečného žiarenia zo satelitov rôznymi prístrojmi a konštrukcie nových prístrojov na meranie TSI vhodných pre umiestnenie na satelitoch, ale aj pre pozemské merania priameho slnečného žiarenia. Porovnanie rekonštruovanej marcovej teploty vzduchu na pláži

Obrázok 1. Pyrliometer CSAR (na dolnej časti solárneho trackera s vonkajším tieniacim zariadením v tvare kruhového čierneho terča), kontrolná jednotka MITRA (2 apertúry sú v bielej obdĺžnikovej konštrukcii) a 6 absolútnych pyrliometrov WSG napravo od jednotky MITRA v otvorenom kryte pred začiatkom kalibračných meraní v PMOD.



Obrázok 2. Nádvorie PMOD WRC s kalibrovanými pyrliometrami na automatických a poloaautomatických solárnych trackeroch. Pred budovou je kryt WSG s vysunutým solárnym trackerom s referenčnými prístrojmi. Na streche hlavnej budovy vidieť kalibrované pyromeetre.



Edo v Japonsku (podľa dátumov rozkvetnutia prvých kvetov čerešní) a rekonštrukcie TSI asi od r. 1600 ukázali, že premenlivosť slnečnej aktivity síce vplyva na klímu na Zemi, avšak súčasné globálne stúpajúce trendy teploty vzduchu s ňou nesúvisia.

IPC XIII sa zúčastnili aj organizácie zaoberajúce sa využitím slnečnej energie, príspevky sa zaoberali napr. harmonizáciou výsledkov referenčných fotovoltaických jednotiek (PV cells).

Paralelne s IPC XIII prebiehala kalibračná kampaň pre pyrgeometre (snímače dlhovýchlných radiačných tokov v atmosfére) IPgC III. Pyrgeometre boli taktiež kalibrované na svetovú referenčnú skupinu týchto prístrojov. Na rozdiel od pyrheliometrov, kalibračné merania prebiehali v noci. V rámci tejto kampane bol kalibrovaný aj referenčný pyrgeometer SHMÚ CGR4 140016. Niekoľko prezentácií zo sympózia sa venovalo aj tejto problematike: napr. výsledkom meraní aktívneho absolútneho pyrgeometra v porovnaní s referenčnou skupinou prístrojov, novými kalibračnými rovníkmi pre tento prístroj, či modelovaniu dlhovýchlného žiarenia na základe iných bežne meraných meteorologických prvkov.

Dôležitým sledovaným parametrom pri kalibračných meraniach je optická hrúbka aerosólu. Aerosóly sú tiež dôležitým klimatickým faktorom. V PMOD sa zaoberajú homogenizáciou údajov o optickej hrúbke aerosólu z rôznych zdrojov. Problematike určovania optickej hrúbky aerosólu v nočných hodinách zo slnečného žiarenia odrazeného od Mesiaca, alebo pomocou stelárnej fotometrie boli venované ďalšie prednášky na sympóziu. Počas IPC XIII prebiehala aj kalibrácia filtrových rádiometrov FRC V.

Plány v oblasti metrológie a kategorizácie kvality meraní radiačných tokov v atmosfére v rámci reštrukturalizácie WMO prezentoval nakoniec podujatia zástupca tejto organizácie.

Výsledky IPC XIII budú publikované až v budúcom roku. Pre nižšiu účasť záujemcov o kalibrácie, podujatie prebiehalo v komornom duchu. Vďaka dobrému počasiu sa pre vyhodnotenie kalibrácie získalo dostatok meraní. Dobrá organizácia podujatia spolu so snahou účastníkov aktívne prispieť k programu a hladkému priebehu akcie viedli k tomu, že celé podujatie bolo bezproblémové a úspešné.

Anna Pribullová
ARC SHMÚ Poprad-Gánovce

DVE VÝZNAMNÉ HYDROLOGICKÉ KONFERENCIE V SEPTEMBRI 2021

V dňoch 6. až 10. septembra 2021 sa uskutočnili v areáli Otvorenej záhrady v Brne dve odborné hydrologické konferencie - XXIX. Conference of the Danubiana Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management (ďalej Konferencia podunajských štátov), ktorej súčasťou bol aj workshop Využitie programovacieho/skriptovacieho jazyka R v hydrológii, a už deviate Hydrologické dni. Obe konferencie organizoval Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno. Konferencie podunajských štátov sa zúčastnilo 183 ľudí virtuálnou formou a 15 účastníkov bolo priamo na mieste.

Hydrologické dni sledovalo cez internet 219 účastníkov a priamo na mieste ich bolo 30–40.

Vybrané príspevky z oboch konferencií budú publikované v troch vedeckých časopisoch: Journal of Hydrology and Hydromechanics, Acta Hydrologica Slovaca a Climate.

Konferencia podunajských krajín sa uskutočňuje spravidla každé 2 roky. Jej 29. ročník sa zameriaval na hydrologické témy a aktuálne výskumné potreby v podunajskom regióne. Konferenciou sa viedli nasledovné témy:

- Údaje: tradičné a nové typy údajov, meranie, správa a analýza údajov (**Data: traditional & emerging, measurement, management & analysis**)
- Súčasný stav hydrologických podkladov pre vodné hospodárstvo v povodí Dunaja (pozorovacia sieť a vodný ekosystém) (**Current status of the hydrological basis of the Danube water management (gauge network and water ecosystem)**)
- Nový vývoj v oblasti hydrologických predpovedí a hydrologických prác v povodí Dunaja (**New developments in hydrological forecasting and enabling hydrological work in the Danube catchment**)
- Poznanie hydrologických extrémov: minulé, súčasné a budúce (**Learning about hydrological extremes: then, now & in the future**)

Na konferencii podunajských štátov bolo prednesených prevažne online 34 príspevkov, pričom väčšina sa zaoberala nízkymi prietokmi a extrémnymi zrážkami, ktoré môžu súvisieť s očakávanou klimatickou zmenou. Slovensko zastupovali pracovníci SHMÚ Lotta Blaškovičová (Zmeny vo vybraných charakteristikách nízkych prietokov na Slovensku v období rokov 2001–2015, v porovnaní s referenčným obdobím 1961–2000), Zinaw Shenga (Vplyv dunajských povodní na prúdenie podzemnej vody), Ladislav Markovič (Klimatológia extrémnych zrážkových udalostí na Slovensku v období 1951–2020) a Eva Kopáčíková (Údaje zo SWICCA databázy v štúdiu dopadu klimatickej zmeny na 100-ročné prietoky).

Súčasťou konferencie bolo aj ocenenie mladých vedcov do 30 rokov, kde prvé miesto obsadila Eva Kopáčíková z SHMÚ. Ocenenie Dunajský veterán bolo za dlhoročný prínos hydrológii udelené Eve Soukalovej z ČHMÚ v Brne a Gaborovi Balintovi z VITUKI inštitútu, in-memoriam. Na posledný deň konferencie organizátori zaradili workshop v programovacom jazyku R, ktorý je v súčasnosti medzi hydrológmi veľmi rozšírený a žiadaný.

Ďalšia, 25. Konferencia podunajských krajín sa plánuje na september 2023 vo Viedni.

Záver týždňa vyplnila tradičná česko-slovenská konferencia hydrológov, **Hydrologické dni 2021**. Táto je v poradí už 9. národnou konferenciou českých a slovenských hydrológov a vodohospodárov. Konajú sa pravidelne od roku 1980 v päťročnom cykle, kde sa v organizácii striedajú česká a slovenská strana. Cieľom stretnutí hydrológov a vodohospodárov z oboch krajín je spoločne zhodnotiť súčasnú úroveň hydrológie a prejednať smer, ktorým by sa mal uberať jej ďalší vývoj. Ťažiskom konferencie boli

moderované diskusie vybraných panelistov z radov českých a slovenských odborníkov. Touto formou boli diskutované štyri ústredné témy konferencie.

- **Technologický vývoj a vplyv na hydrológiu**

(panelisti: *Jakub Langhammer, Juraj Parajka, Michal Šanda, Jan Špatka*)

Cieľom diskusie bolo zmapovať nastupujúce technologické trendy a ich potenciál pre rozvoj hydrológie, ale aj hrozby, ktoré môžu prinášať vo vzťahu k českej a slovenskej hydrológii a hydrologickým službám.

Technologický rozvoj v posledných desaťročiach zásadne premenil celú ľudskú spoločnosť, vrátane hydrológie a vodného hospodárstva. Bezdrôtové prenosy dát, nové metódy merania, IT technológie spracovania dát premenili podobu hydrológie ako odboru v jeho vedeckej, ale aj operatívnej časti. IT technológie mali tiež za následok vznik novej odnože hydrológie - hydroinformatiky. Odhadovanie ďalšieho smeru technologického rozvoja je zložitou disciplínou a predstavy, ako bude svet vyzerat' za 30 rokov sú často veľmi ďaleko vzdialené od následnej skutočnosti. Napriek tomu je nutné trendy sledovať a včas na ne reagovať.

- **Hydrológia a meniaci sa ľudská spoločnosť a jej požiadavky** (panelisti: *Pavel Punčochář, Danica Lešková, Petra Oppeltová, Lukáš Záruba*)

Téma mala dať odpoveď na otázky, ako chce byť verejnosť informovaná o riziku vzniku povodní, o upozorneniach v prípade hroziaceho sucha, aké informácie potrebujú firmy, ako voda ovplyvní poľnohospodárstvo, aké potrebujú viacodborové vedecké tímy hydrologické vstupy pre posúdenie napr. rizík zmien ekosystémov, alebo ekonomických systémov, ale tiež akým spôsobom môžeme zapojiť spoločnosť (laickú a odbornú) napr. do zberu hydrologických dát (Citizen science; Crowd Hydrology).

Ľudská spoločnosť sa dynamicky mení, rovnako ako bežný spôsob života. Internet a sociálne siete zásadne zmenili spôsob, akým ľudia pristupujú k informáciám, ale aj aké majú očakávania na fungovanie služieb a interakcie s okolím. Hydrológia (monitoring, poznávanie a vyhodnocovanie obehu vody) je jedna zo služieb, ktorá je poskytovaná verejnosti prostredníctvom verejnej správy. Aby mohla byť dlhodobo úspešným odborom, ktorý bude vnímaný ako významný pre dostatočné financovanie a podporu, musia aj hydrológovia poznať a reagovať na prípadné zmeny očakávania záujmových strán. Tie tvoria nielen štát, ale aj európske a svetové spoločenstvo, susedné štáty, rôzne nadväzujúce a príbuzné odbory akademického sektora a verejnej správy, súkromné subjekty a verejnosť.

- **Česká a slovenská hydrológia vo víre globalizácie** (panelisti: *Jan Danhelka, Petr Kubala, Pavol Miklánek, Jana Poárová*)

Globalizácia, voľný prístup k dátam (v nadväznosti na tendenciu „otvorených dát“) a prepojenie celého sveta

úplne mení podmienky fungovania nielen firiem, ale aj národných odborných organizácií a spoločností. Je vhodné sa zamýšľať, ako globalizácia ovplyvní českú a slovenskú hydrológiu a akým smerom by sa mala vydať, aby v uvedených podmienkach obstála aj v budúcnosti.

Google v spolupráci s Indian Meteorology Department v roku 2019 spracoval prvú predikciu zatopených oblastí spôsobených monzúnovými dažďami. JRC EÚ, SMHI, Deltares a iní prevádzkujú globálne hydrologické modely v reálnom čase. Satelitné merania poskytujú dáta o parametroch hydrologického režimu na celom svete v stále rastúcom rozlíšení pre stále rastúci počet hydrologických prvkov. Stratégiou WMO je Earth System Approach modelujúci planétu ako jediný súbor procesov odohrávajúcich sa v atmosfére, hydrosfére, oceánoch a na povrchu i pod ním. Hydrologické štúdie (napr. vplyv zmeny klímy) pre územie Česka a Slovenska dnes spracovávajú tímy z rôznych kútov sveta.

- **Ako bude vyzerat' český a slovenský hydrológ budúcnosti** (panelisti: *Ján Szolgay, Pavel Fošumpaur, Mark Rieder, Adam Vizina*)

Predchádzajúce témy diskusií sa zaoberali technologickými zmenami, globalizáciou a zmenami v potrebách spoločnosti. Aby na uvedené zmeny dokázali hydrológovia reagovať, musia sa meniť aj oni. Treba si teda položiť otázku: Ako bude vyzerat' český a slovenský hydrológ budúcnosti, aké zručnosti, znalosti bude musieť mať, aká bude jeho úloha? A ako by sa mal prispôsobiť systém výchovy nových hydrológov, aby boli v budúcnosti pripravení „niesť prápor“ českej a slovenskej hydrológie?

Hydrologické dni je práve konferencia, ktorú možno považovať za strategickú. V minulosti hlavní rečníci často prednášali svoje posolstvá a vízie rozvoja hydrológie do nasledujúcich rokov. Niekedy sa hovorí, že hydrológia je veda, ale aj umenie (Ing. Hladný ju prirovnával k ťahacej harmonike, s tým, že sa na nej musí vedieť hrať). Vytvárajú ju a definujú hydrológovia - minulí, súčasní i budúci.

Do panelových diskusií sa aktívne zapájali účastníci prostredníctvom špeciálnej aplikácie. Zaujímavé otázky panelisti rozdiskutovali. Po každej téme sa premietali vybrané prezentácie zamerané na diskutovanú tému.

Príspevky preukázali, že česká a slovenská hydrológia rozvíja nové metódy a postupy, rieši aktuálne témy a významne prispieva k prekonávaniu problémov (alebo k ich zmierňovaniu). Zborník konferencie obsahuje 38 odborných príspevkov.

Video z konferencií a prezentácie sú k dispozícii na web stránkach konferencií: www.danubeconference.eu a www.hydrologickedny.cz.

*Danica Lešková, Eva Kopáčiková
SHMÚ, Bratislava*

SÚŤAŽNÁ KONFERENCIA MLADÝCH ODBORNÍKOV V ROKU 2021

Slovenský hydrometeorologický ústav zorganizoval 11. novembra 2021 Konferenciu mladých odborníkov (ďalej KMO). Tradične konferencia prebieha v troch sekciách, tento rok bola už 33. Konferencia mladých hydroológov, 22. Konferencia mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov v oblasti kvality ovzdušia a 20. Konferencia mladých vodohospodárov. KMO sa už po druhýkrát vo svojej 33-ročnej histórii konala on-line formou video-konferencie, v tieni koronavírusovej pandémie.

Konferenciu podporili:

- Slovenská meteorologická spoločnosť (SMS)
- Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku (ZZVH)
- Global Water Partnership Central and Eastern Europe
- International Hydrological Programme of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrologiu

Garanti konferencie:

- pre hydrologiu - RNDr. Pavol Miklánek, CSc. (Slovenský výbor pre hydrologiu),
- pre vodné hospodárstvo - Ing. Pavel Hucko, CSc. (ZZVH),
- pre meteorológiu, klimatológiu a kvalitu ovzdušia - RNDr. Paulína Valová (SMS).

Súťažilo sa v troch sekciách. Do súťaže mladých hydroológov bolo prihlásených 6 súťažných príspevkov. Konferenciu online prostredníctvom aplikácie Skype sledovalo odhadom 36 účastníkov. Súťaž mladých vodohospodárov so 6 príspevkami online sledovalo cez aplikáciu Webex približne 20 účastníkov. Do súťaže mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov v oblasti kvality ovzdušia sa zapojilo 10 súťažiacich s 8 príspevkami, cez Google Meet sa na konferenciu prihlásilo viac ako 40 účastníkov.

V zmysle štatútov súťaží príspevky a prezentácie hodnotila odborná porota v tomto obsadení:

• **hydrologia:**

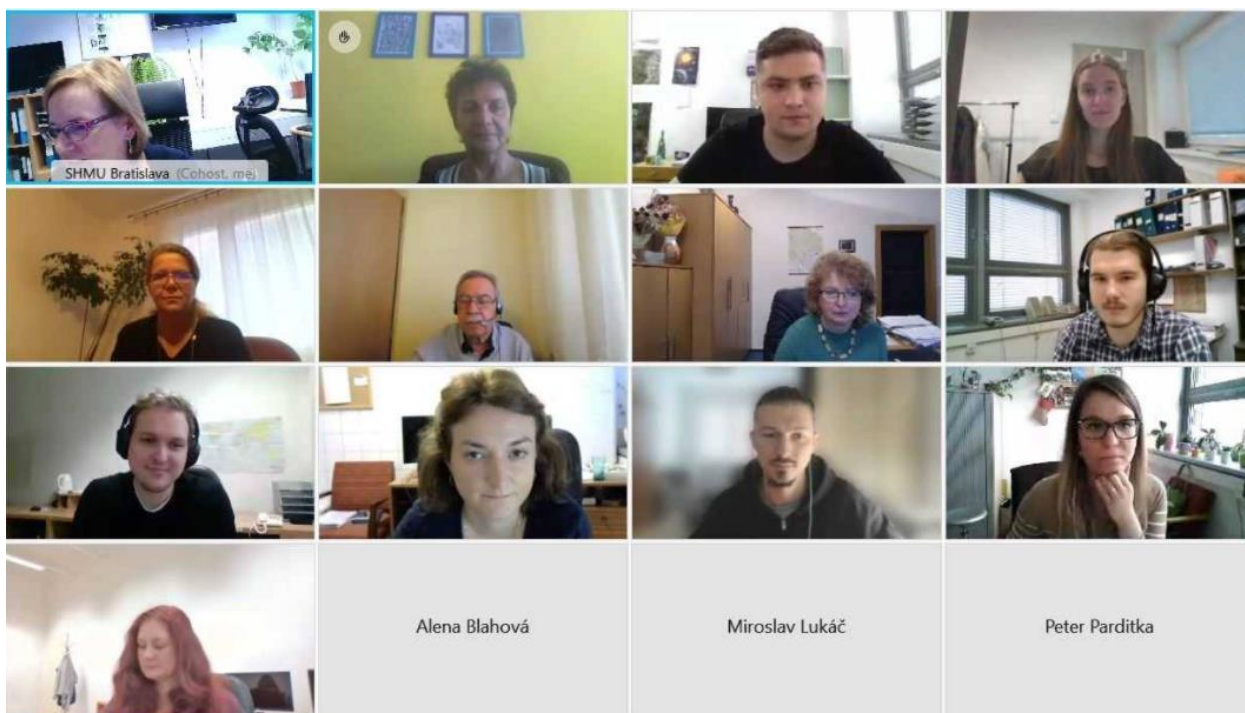
RNDr. Pavol Miklánek, CSc. (ÚH SAV BA) – predseda poroty, Ing. Lotta Blaškovičová, PhD. (SHMÚ BA), Ing. Michaela Danáčová, PhD. (SvF STU BA), Ing. Zuzana Danáčová, PhD. (SHMÚ BA), Mgr. Kateřina Hrušková, PhD. (SHMÚ BB), Mgr. Ondřej Ledvinka (ČHMÚ Praha),

• **vodné hospodárstvo:**

Ing. Alena Bujnová (SVP, OZ BS, š. p.) – predsedníčka poroty, Ing. Pavel Hucko, CSc. (ZZVH), Ing. Eva Kolesárová (OZ KE, SVP, š. p.), Ing. Ingrid Kušniráková (SVP, OZ BB, š. p.), Ing. Miroslav Lukáč, PhD. (VÚVH BA),

• **meteorológia, klimatológia a kvalita ovzdušia:**

Mgr. Mária Derková, PhD. (SHMÚ BA) – predsedníčka poroty, Doc. RNDr. Martin Gera, PhD. (KAFZM FMFI UK BA), Mgr. Milan Onderka, PhD. (SAV BA), RNDr. Norbert Polčák, PhD. (SHMÚ BA), Ing. Janka Szemesová, PhD. (SHMÚ BA) - neprítomná, RNDr. Paulína Valová (SHMÚ BA).



Ocenené práce poroty boli vyhlásené bez udania poradia, uvedení sú podľa abecedy.

33. Konferencia mladých hydroológov

- **Caudal Pavel:** *Změny hydrologického režimu vodních toků na jižní Moravě v proměnách času, ČHMÚ, pobočka Brno;*
- **Labat Marija Mihaela:** *Posúdenie vplyvu klimatických zmien na odhadované návrhové prietoky v malom povodí na Slovensku, Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU BA, SHMÚ;*
- **Liová Anna:** *Určenie kontrolnej povodňovej vlny na základe jej objemu a tvaru, Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU BA.*

20. Konferencia mladých vodohospodárov

- **Bednár Martin:** *Reservoir Storage-Yield Analysis under Uncertainty of Climate Change, Ústav vodního hospodářství krajiny, SvF VÚT v Brně;*
- **Kandera Miroslav:** *Rozšírenie modelovania bilancie množstva povrchových vôd o simulovanie podzemných vôd, Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU BA, SHMÚ;*
- **Tomaščík Matúš:** *Využitie experimentálneho výskumu na náchylnosť vzniku erózie pôdy, Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU BA.*

22. Konferencia mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov v oblasti kvality ovzdušia

- **Seják Karol:** *Využitie družicových dát pre potreby posudzovania kvality ovzdušia, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, UK Bratislava;*
- **Šedivá Tereza:** *Comparison of emission profiles in the CMAQ model, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, SHMÚ;*
- **Štrbáň Peter:** *Vplyv znosu rádiosondy v asimilácii dát numerického predpovedného systému ALADIN/SHMÚ, SHMÚ.*

Elektronický zborník (ISBN 978-80-99929-30-3) so súťažnými prácami je uverejnený na <https://kmo.shmu.sk/>. Súťažné práce sa ponúknu redakčným radám odborných časopisov na publikovanie.

Alena Blahová
SHMÚ, Bratislava

FÓRUM O ČISTOM OVZDUŠÍ

Tretie fórum EÚ o čistom ovzduší (Clean Air Forum) sa konalo v dňoch 18. 11. – 19. 11. 2021 v španielskom Madride. Fórum sa organizuje každé dva roky a predchádzajúce ročníky sa konali v Paríži (2017) a Bratislave (2019).

Cieľom stretnutia je poskytnúť usmernenia a pomoc pri koordinácii vykonávania právnych predpisov Únie a politik súvisiacich so zlepšovaním kvality ovzdušia pre všetky zainteresované strany, ku ktorým patria členské štáty EÚ, na všetkých relevantných úrovniach, Európska komisia, zástupcovia priemyslu, mimovládnych organizácií, či ve-

decká komunita. Navzájom si vymieňajú svoje skúsenosti a postupy, ktoré pomáhajú zvyšovať informovanosť a povedomie o kvalite ovzdušia, pomáhajú si pri vytváraní politik v oblasti ovzdušia, vrátane tých, ktoré sa dotýkajú vykurovania domácností, či cestnej dopravy.

Hlavnými témami madridského fóra boli:

- nulové znečistenie: kvalita ovzdušia a zdravie,
- spolupráca s mestami a občanmi,
- prepojenie čistého ovzdušia, klímy a obnovy,
- znečistenie ovzdušia, zmena klímy a biodiverzita,
- prístup k spravodlivosti a právo na čisté ovzdušie,
- kvalita ovzdušia: revízia pravidiel EÚ.

Vystúpilo množstvo významných osobností, medzi inými Michael Bloomberg, bývalý trojnásobný starosta NY, výkonný viceprezident EK Frans Timmermans, generálny riaditeľ WHO Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, európsky komisár pre životné prostredie, oceány a rybolov Virginijus Sinkevičius, riaditeľka DF Enviro Florika Fink-Hooijer, množstvo starostov veľkých európskych miest, ako aj občiansky aktivisti z rôznych krajín.

Medzi hlavné posolstvá fóra možno považovať snahu o väčšiu spoluprácu medzi všetkými úrovňami rozhodovania v krajine od celoštátnej, regionálnej až po miestnu úroveň. Zároveň sa mnohokrát spomínalo, že do rozhodovacích procesov o opatreniach na zlepšenie kvality ovzdušia je nevyhnutné zapájať mestá, ako aj ich obyvateľov. Ďalším dôležitým odkazom bola nevyhnutnosť riešiť zmenu klímy a znečistenie ovzdušia spolu, nie oddelene od seba, pretože opatrenia na zmenu klímy môžu pozitívne ovplyvniť aj kvalitu ovzdušia a vice versa. Frans Timmermans sa počas svojho vystúpenia vyjadril, že problém kvality ovzdušia je nevyhnutné riešiť v zmysle hesla „Make it personal“.

Aplikácia európsky index kvality ovzdušia

Počas fóra bola predstavená nová mobilná aplikácia Európsky index kvality ovzdušia. Aplikácia bola vytvorená Európskou environmentálnou agentúrou a Európskou komisiou. Jej účelom je priblížiť obyvateľom informácie o kvalite ovzdušia tak, aby mali vždy kvalitné a presné údaje o tom, v akej oblasti sa nachádzajú z hľadiska kvality ovzdušia. Aplikácia ukáže užívateľovi najlepšie možné údaje pre konkrétne miesto, a či je bezpečné sa v danej oblasti nachádzať zo zdravotného hľadiska. Aplikácia je voľne sťahuteľná na <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eea.AQIMobile&hl=en&gl=US>.

Zuzana Jonáček
SHMÚ, Bratislava

KONFERENCIA O OVZDUŠÍ

V dňoch 25. a 26. novembra 2021 sa na náhradnom mieste v Bratislave opäť uskutočnil ďalší ročník tradičnej medzinárodnej konferencie OCHRANA OVZDUŠIA, ktorá si počas dlhoročnej existencie získala popularitu a významné miesto v odborných kruhoch. Bohužiaľ už po druhýkrát po sebe sa pre pokračujúcu pandémiu musela konferencia

presunúť do online priestoru a v skrátenej forme bola realizovaná v priestoroch hotela v Bratislave.

Napriek tomu sa podarilo zorganizovať a zabezpečiť veľmi rôznorodé a kvalitné vedecké príspevky, a okrem tradičných prispievateľov a dlhoročných spolupracovníkov sa konferencie odborne zúčastnili aj nováčikovia. Privítali sme medzi prednášajúcimi kolegov z bankovníctva, občianskeho združenia Náš Prešov, Banskobystrického samosprávneho kraja a viacerých prispievateľov z priemyslu a Slovenskej inšpekcie životného prostredia.

Keďže konferencia má medzinárodný charakter, s radosťou sme privítali viacerých kolegov z Českej republiky, a tak sme ani tento rok nezaostali za dobrou tradíciou konferencie.

Program konferencie sa zhrnul do šiestich panelov v priebehu jeden a pol pracovného dňa. Témy konferencie boli nastavené vysoko aktuálne a zahŕňali ako tradičné aj nové právne úpravy v oblasti kvality ovzdušia, novinky v oblasti politiky zmeny klímy, informácie z Konferencie v Glasgowe a prvé novinky v oblasti výpočtu uhlíkovej stopy priemyselných procesov. Nasledovali novinky v priemyselných emisiách, informácie o najlepších dostupných technikách, meranie emisií, a samozrejme nesmelo chýbať modelovanie kvality a emisie z dopravy.

Konferencie sa zúčastnili aj viacerí pracovníci a experti Úseku kvalita ovzdušia SHMÚ, ktorí pracujú v rámci Odboru emisie a biopalivá a Odboru monitorovanie kvality ovzdušia. Ako zvyčajne, členkou prípravného výboru konferencie bola Ing. Janka Szemesová, PhD., ktorá sa aktívne podieľala na príprave odborného programu a koordinácii priebehu konferencie.

Zaujali prezentácie o zelenom (klimatickom) financovaní bankového sektora prezentované zástupcami Česko-slovenskej obchodnej banky, prezentácie o význame zelene

pri cestných komunikáciách zástupcu BB SK a aktivitách v rámci projektu LIFE IP Kvalita ovzdušia. Niekoľko prezentácií sa venovalo modelovaniu a výsledkom rozdelenia okresov podľa rizika na zhoršenie kvality ovzdušia informáciám o plánovaných alebo prebiehajúcich projektoch, ktorých výsledky pravdepodobne uvidíme na budúcom ročníku konferencie Ochrana ovzdušia 2022.

Mediálnym partnerom konferencie bol znovu aj náš Meteorologický časopis.

*Janka Szemesová
SHMÚ, Bratislava*

ODBOR EMISIE A BIOPALIVÁ PREDSTAVIL NOVÚ WEBOVÚ STRÁNKU



Dlho očakávaná webová stránka <https://oeab.shmu.sk/> zameraná nielen na emisie skleníkových plynov a znečisťujúcich látok, ale aj na biopalivá, Národný emisný informačný systém a novinky a zaujímavosti zo sveta zmeny klímy a ochrany ovzdušia je na svete. Bola spustená začiatkom novembra a je určená pre odbornú a laickú verejnosť. Obsahuje množstvo užitočných informácií, interaktívne grafy s emisiami a dôležité dokumenty produkované odborníkmi na emisie SHMÚ, Odboru Emisie a biopalivá.

Ak hľadáte komplexné info o tom, čo sa deje vo svete emisií, kliknite a dajte nám vedieť svoj názor.

*Janka Szemesová
SHMÚ, Bratislava*

PERSONÁLIE

PERSONALS

Ing. ELEMÍR DUNAJSKÝ, CSc. OSEMDESIATROČNÝ

Profesionálna púť človeka je často uhnetená z prirodzených daností, do ktorej sú primiešané v pravom čase a v zodpovedajúcom množstve ďalšie prepotrebné ingrediencie, ktorými sú napríklad odbor vzdelania, zameranie vojenskej služby, možnosti uplatnenia v danom čase a priestore a iné ukazovatele, vrátane nezbytného kúska šťastia. Inak tomu nie je ani pri E. Dunajskom, dlhoročnom pracovníkovi SHMÚ, ktorý sa narodil 12. 10. 1941 v Debradi, okres Košice-okolie. Ak mapujeme jeho profesionálnu púť, do ďalšieho života ho nasmerovalo štúdium na Poľnohospodárskej technickej škole v Lelesi. Táto škola mu dala poznatky o základoch poľnohospodárskej výroby, pevne prepojenými s agroklimatickými termínmi, ako aj o podstate klimatických dejov v spojitosti s vegetáciou. Neskôr pokračoval v učiteľskej praxi na Poľnohospodárskej učňovskej škole v Čečejovciach. Nedlho po tom ako začal diaľkovo študovať na Pedagogickom inštitúte v Košiciach, nastúpil na základnú vojenskú službu na Vojenskej meteorologickej stanici v Kežmarku. Tu dostal základné kurzy z odboru meteorológie, leteckej meteorológie a aerológie pričom získal poznatky aj z meteorologických pozorovateľských činností. S týmto vedomostným základom a praktickými zručnosťami nastúpil od 1. 10. 1962 do práce na Hydro-meteorologický ústav, a to na leteckú meteorologickú stanicu Košice-letisko ako technik - pozorovateľ. Od tohto dátumu pokračovalo účinkovanie E. Dunajského na HMÚ. Nakoľko nepracoval v školstve, musel si zvoliť pokračovanie vysokoškolského štúdia v inom odbore, pričom voľba padla na Vysokú školu poľnohospodársku v Nitre. Po ukončení štúdia prestúpil na vtedajšie Stredisko SHMÚ v Košiciach, do skupiny čistoty ovzdušia, ktorú od roku 1969 viedol. Pre oblasť Košíc zabezpečoval výstavbu a prevádzku staničnej siete na meranie znečistenia ovzdušia. Viedol a zúčastňoval sa expedičných meraní znečisťujúcich látok jednak v priemyselných oblastiach, ako aj vo vybraných rekreačných lokalitách. Naďalej si zvyšoval kvalifikáciu a absolvoval postgraduálne štúdium v odbore Ochrany a tvorby životného prostredia na ČVUT v Prahe, ktoré

ukončil v roku 1976. V tom istom roku bol poverený vedením odboru meteorológie na pobočke SHMÚ v Košiciach. Odbor dobudoval technicky – najmä stabilizáciou meteorologickej, zrážkomernej a fenologickej siete, no i pesonálne – zabezpečením revízorskej, posudkovej a výskumnej činnosti. V roku 1988 ukončil externú aspirantúru na Univerzite agrárnych vied v Debrecíne z odboru agrometeorológie. Za svojich aktívnych časov, no i po odchode do dôchodku bol, a naďalej je vo svojom okolí známy ako aktívny propagátor klimatológie, agrometeorológie a fenológie. Organizoval a zapájal sa do exkurzií, konzultácií a inštruktáží pre študentov. Organizoval veľké množstvo úspešných odborných seminárov a konferencií. Publikoval vyše 50 príspevkov v časopisoch a zborníkoch. Riešil výskumné úlohy a projekty z oboru klimatológie, agrometeorológie a fenológie. Vo svojej výskumnej práci jubilant vždy chápal rastlinný porast ako neoddeliteľnú zložku systému pôda-rastlina-atmosféra a snažil sa úzko prepájať vedné odbory klimatológiu, agrometeorológiu a fenológiu. Naďalej zostáva aktívnym členom Slovenskej meteorologickej spoločnosti a Slovenskej bioklimatickej spoločnosti.

Ing. Elemír Dunajský, CSc. odišiel do dôchodku v roku 2004, no neustále sa zaujíma o svoje vedné odbory a aktívne sa zúčastňuje odborných podujatí, kde živo diskutuje. Stále je plný mladického elánu a optimizmu, tak ako si ho pamätáme z práce. Do ďalších rokov mu prajeme veľa zdravia, pohody a lásky v kruhu svojich najbližších.

*Pavel Šťastný
SHMÚ, Bratislava*

PROFESOR JAN BEDNÁŘ PĚTASEDMDESÁTILETÝ

Dne 10. listopadu 2021 se dožil sedmdesátipěti let profesor RNDr. Jan Bednář, CSc., dlouholetý vedoucí katedry meteorologie a ochrany prostředí Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze a prorektor Karlovy univerzity. Shodou okolností se v sobotu 16. října ve Velké aule Karolina konečně uskutečnila od roku 2020 několikrát odkládaná Zlatá promoce absolventů Matematicko-

fyzikální fakulty Univerzity Karlovy z roku 1970. Na této akci jsem se s prof. Bednářem sice nesetkal, ale toto setkání mně inspirovalo k tomu, abych tento příspěvek pojmul trochu netradičně.

S Honzou (doufám, že mi prof. Bednář toto oslovení promíne) jsem totiž v rámci studia na MFF absolvoval v letech 1967–1970 tři roky společného studia oboru meteorologie. Původně jsme byli na studium tohoto oboru přijati tři, ale třetí kolega v létě 1967 tragicky zahynul v Alpách a celé specializované studium meteorologie jsme s Honzou absolvovali pouze ve dvou. Mělo to své výhody i nevýhody. Všechny oborové přednášky a cvičení se konaly v příjemném prostředí knihovny katedry ve II. patře historické budovy matematicko-přírodovědných ústavů UK v ulici U Karlova č. 3, případně v pracovnách externích přednášejících. Výhodou byl velmi dobrý kontakt s přednášejícími, který umožňoval případné okamžité konzultace k probírané látce, na druhé straně to vyžadovalo jednak nutnost stálého soustředění při výuce a jednak dobrou koordinaci naší účasti při výuce (vyučující vyžadovali buď účast obou, nebo naopak předem domluvenou neúčast obou). Společné studium s Honzou rovněž nebylo jednoduché. Byl totiž velmi dobrým studentem, s výborným logickým myšlením a vynikající pamětí. V důsledku toho se v několika semestrech stalo, že já šel teprve na první zkoušku a Honza již měl všechny hotové. Jeho vědecké, pedagogické i obecně lidské vlastnosti si velmi brzo uvědomil prof. Brandejs i tehdejší vedoucí katedry doc. Zikmunda a podařilo se jim získat pro Honzu trvalé pracovní místo na katedře. Jeho následná úspěšná kariéra na Karlově univerzitě je dostatečně známá – od asistenta, přes docenta a profesora meteorologie až po prorektora univerzity.

Vzhledem k tomu, že jsem na katedře ještě několik let zůstal na studijním pobytu a řádné aspirantuře (s výjimkou jednoho roku základní vojenské služby), měl jsem možnost se s Honzou denně setkávat až do roku 1974 a využívat jeho vždy ochotné rady a konzultace. Rád rovněž vzpomínám na neformální setkávání všech členů katedry u přestávek na kávu v knihovně katedry, které byly kromě odborných diskusí někdy vyplněny vzpomínkami či židovskými anekdotami pana profesora Brandejse či popichováním nás nejmladších panem docentem Zikmundou. Závěrem tohoto příspěvku bych rád Honzovi poděkoval za všechno, co mi spolupráce a setkávání s ním dalo a přeji mu do dalších let pohodu, klid, a především hodně a hodně zdraví.

Zdeněk Blažek

Pán profesor Bednář je aj dlhoročným členom našej redakčnej rady Meteorologického časopisu. V mene celej redakčnej rady Vám pán profesor ďakujeme za doterajšiu spoluprácu a prajeme pevné zdravie!

JUBILANT RNDr. MIROSLAV CHMELÍK, CSc. SEDEMDESIATROČNÝ

Dňa 11.7.2021 sa dožil pekného životného jubilea meteorológ RNDr. Miroslav Chmelík, CSc. Jeho doterajší pracovný život je úzko spätý s meteorológiou, špeciálne s oblasťou aerológie, meraním celkového atmosférického ozónu a slnečného ultrafialového žiarenia.

Narodil sa v Martine. Po ukončení základnej a strednej školy pokračoval v štúdiu na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave, kde získal vysokoškolské vzdelanie v odbore fyzika, špecializácia meteorológia a klimatológia. V roku 1974 nastúpil na pracovisko Slovenského hydrometeorologického ústavu – vtedajšiu Aerologickú stanicu na popradskom letisku. Stanica sa onedlho presťahovala do novovybudovaného Aerologického strediska v Poprade - Gánovciach. Tu už jubilant pôsobil dlhé roky aj ako jeho vedúci. S aerologickými meraniami súvisí aj jeho kandidátska dizertačná práca „Vplyv orografie na hraničnú vrstvu atmosféry“, ktorú obhájil v roku 1989 a získal vedeckú hodnosť kandidáta matematicko-fyzikálnych vied.

Po ukončení základnej vojenskej služby a absolvovaní počítačovej praxe sa stal v Gánovciach najskôr vedúcim Oddelenia aerologických meraní a neskôr od roku 1992 bol vymenovaný za vedúceho celého pracoviska, ktorého hlavnou náplňou vtedy boli pravidelné rádi sondážne merania vo voľnej atmosfére. Dr. Chmelík sa významnou mierou zasadil na pracovisku aj o vznik nového Oddelenia merania celkového atmosférického ozónu a slnečnej UV radiácie. I jeho zásluhou sa pracovisko zmodernizovalo výpočtovou technikou, čo značne uľahčilo nástup automatizácie aerologických meraní pomocou meracieho systému Vaisala DigiCor. V roku 1993 sa významnou mierou pričínal o vybavenie pracoviska v Gánovciach moderným Brewrovým ozónovým spektrofotometrom MK IV, čím sa začala na SHMÚ písať história merania celkového ozónu a spektrier slnečného globálneho UV žiarenia. Pracovisko bolo zaradené medzi stanice globálnej siete staníc na meranie celkového ozónu GAW WMO GO3OS a v súčasnosti disponuje už takmer tridsaťročným časovým radom nameraných údajov. V roku 2007 bola stanica pod jeho vedením poverená funkciou Národného centra pre meranie slnečnej radiácie.

Ako jeho dlhoročný kolega môžem povedať, že Miroslav vynikal najmä po odbornej stránke a obdivoval som jeho cieľavedomé dopĺňanie si nových vedomostí, ktoré využíval pri riešení mnohých domácich i medzinárodných projektov. Svojimi prezentáciami obohatil mnohé semináre a konferencie. Bol konzultantom či oponentom rigorózných a dizertačných prác aj odborných publikácií.

Miroslav Chmelík má za sebou aj bohatú publikačnú činnosť. Svedčí o tom autorstvo a spoluautorstvo viacerých rozsiahlych štúdií a odborných článkov. Ešte donedávna prispieval svojimi publikáciami do odborných ročeniek a časopisov. V roku 1999 bol vymenovaný za manažéra ozónového výskumu a monitoringu Ministerstva životného prostredia SR, v rámci implementácie Viedenskej dohody o ochrane ozónovej vrstvy Zeme. V rokoch 1998–2006 vykonával funkciu člena Vedeckej rady SHMÚ a od roku 1998 bol členom redakčnej rady Meteorologického časopisu. Od roku 1975 je členom Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV. Svoje vedomosti a odborné znalosti prezentoval Miroslav Chmelík aj populárnou formou každoročne počas Dňa otvorených dverí SHMÚ, vystupoval v rozhlas, televízii a v miestnych médiách.

Jeho pracovné a odborné schopnosti a úspechy ocenil v roku 2009 minister Čestným uznaním ministra životného prostredia SR za mimoriadne výsledky a dlhoročný prínos a starostlivosť o životné prostredie. Je tiež držiteľom strie-

bornej medaily SHMÚ za Zásluhy o rozvoj hydrológie a meteorológie.

V mimopracovnom čase sa Miroslav pravidelne so svojím kolektívom zúčastňoval športových hier SHMÚ a ČHMÚ, z ktorých sa málokedy vrátil bez ocenenia. Jeho oporou doma mu je jeho rodina, manželka, deti, milovaní vnuci a vnučka. Vo voľných chvíľach obľubuje bicyklovanie, v zime lyžovanie, bežkovanie a občas pri spoločných stretnutiach siahne i po gitare, či ústnej harmonike.

Za priateľov a dlhoročných kolegov prajem Miroslavovi do ďalších rokov dobré zdravie, tak potrebný životný optimizmus a mnoho radosti i spokojnosti tak v súkromnom ako aj spoločenskom živote.

*Oliver Mišaga,
ARC SHMÚ Poprad - Gánovce*

RNDr. HELENA ŠÍPIKALOVÁ JUBILUJE

RNDr. Helena Šipikalová sa narodila 2. septembra 1951 v Šuranoch, kde získala aj základné a stredoškolské vzdelanie. Vo vysokoškolskom štúdiu pokračovala v rokoch 1969 až 1974 na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave, v odbore hydrológia a klimatológia. Téma jej diplomovej práce bola Odvodenie jednotkového hydrogramu pre profil Čierny Váh. Po ukončení štúdia nastúpila od 1. augusta 1974 na SHMÚ Bratislava. V tomto období riešila výskumnú úlohu Porovnanie metód výpočtu N-ročných prietokov. Od 1. júna 1977 prešla na pracovisko SHMÚ Banská Bystrica, kde pôsobila až do odchodu na dôchodok. Rigoróznou skúšku absolvovala v roku 1981. Venovala sa monitoringu povrchových vôd a po delimitovaní aplikovanej hydrológie aj poskytovaniu posudkov a expertíz v povodí Hrona, Ipľa a Slanej. Na pracovisku pôsobila ako vedúca oddelenia, odboru a vo funkcii riaditeľky pobočky. Podieľala sa na rozpracovaní hydrologických charakteristík za reprezentatívne obdobie 1931–1980 do medziprofilov v povodí Hrona, Ipľa a Slanej. Prínosom pre problematiku reprezentatívnych povodí bolo riešenie úloh Výskum tvorby a vývoja odtoku v závislosti od prírodných podmienok v povodí Čierneho Hrona (1985, 1990). Vďaka bohatým znalostiam, praktickým skúsenostiam a schopnosti organizovať tímovú prácu, stala sa zodpovedným riešiteľom hlavnej výskumno-vývojovej úlohy Spracovanie hydrologických charakteristík a zároveň riešiteľkou čiastkových úloh: koordinácia a priemerné ročné prietoky za reprezentatívne obdobie 1961–2000, úhrny zrážok na povodie a spoluriešiteľkou úloh priemerné mesačné prietoky, M-denné prietoky a N-ročné maximálne prietoky. Túto prácu spojila so zavedením používania nástrojov geografických informačných systémov. Bohatá je jej publikačná činnosť, podieľala sa na príprave a realizácii projektov a tvorbe noriem. Z nich spomenieme STN 75 1400 Hydrológia Hydrologické údaje povrchových vôd Základné ustanovenia, STN 75 1410-1 Hydrológia Hydrologické údaje povrchových vôd Kvantifikácia priemernej vodnosti. Časť 1: Charakteristiky denných vodných stavov a prietokov, STN 75 1410-2 Hydrológia Hydrologické údaje povrchových vôd Kvantifikácia priemernej vodnosti. Časť 2: Charakteristiky mesačných vodných stavov a prietokov, STN 75 1410-3 Hydrológia Hydrologické údaje povrchových vôd Kvantifikácia prie-

mernej vodnosti. Časť 3: Charakteristiky ročných vodných stavov a prietokov.

Dlhé roky koordinovala medzinárodnú spoluprácu na hraničných tokoch Ipľa a Slaná pri výmene hydrologických údajov, ako aj pri schvaľovaní spoločných hydrologických charakteristík.

V projekte Aplikovaný výskum metód na určovanie klimatických a hydrologických návrhových veličín pracovala ako odborný garant pre Vývoj metodiky stanovenia návrhových hydrologických veličín prítalových povodní na malých povodiach. Podieľala sa na vývoji webovej aplikácie SHMÚ pre problematiku sucha.

Pod jej vedením sa stalo tradíciou propagovanie SHMÚ a hydrológie organizovaním odborných seminárov na pracovisku Banská Bystrica. V roku 2009 bola ocenená Cenou ministra životného prostredia. Počas celej pracovnej kariéry pracovala s veľkým nadšením a svojím entuziazmom vedela strhnúť celý pracovný kolektív.

Jubilantke ďakujeme za vykonanú prácu na poli slovenskej hydrológie, prajeme pevné zdravie a veľa radosti z vnúť.

Zora Snopková, SHMÚ, Banská Bystrica

K SEDEMDESIATINÁM RNDr. VLADIMÍRA PASTIRČÁKA

Pripomenutia, a nakoniec aj oslavy okrúhlych narodenín, začínajúcich sa vyšším číslom ako 6 majú už väčšinou osobnejší náboj, profesná stránka je zväčša už len pootvorenou knihou a do popredia vystupujú zdravie, pohoda a obklopenie sa okruhom blízkych. Náš jubilant, kolega a priateľ RNDr. Vladimír Pastirčák sa v dobrom zdraví a spokojnosti dožil koncom roka 2021 svojho životného jubilea. Je rode-ným Bratislavčanom, narodil sa tu 26. novembra 1951. Už na strednej škole ho zaujala fyzika, preto si prirodzene zvolil štúdium tohto vedného odboru na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského. Vysokú školu absolvoval v roku 1975, jeho špecializácia bola meteorológia a klimatológia. Zamestnal sa na Slovenskom hydrometeorologickom ústave, kde strávil celý svoj profesný život. Pracoval ako meteorológ v predpovednej službe, ktorá v tom čase sídlila na bratislavskom letisku. Neskôr, od roku 1993, sa stal vedúcim oddelenia numerických predpovedí a vedúcim odboru predpovedí a výstrah. V období rokov 2002 až 2007 bol riaditeľom Úseku Meteorologickej služby SHMÚ. Cieľavedome pracoval na svojom odbornom raste, rigoróznou skúšku absolvoval v roku 1982 na Katedre meteorológie a klimatológie MFF UK. V radiaciach funkciách Úseku Meteorologickej služby sa venoval skvalitneniu výsledkov meteorologickej predpovednej praxe. Cieľavedome pokračoval v aktivitách vedúcim k postupnému vylepšovaniu numerického modelu ALADIN a jeho aplikácii v prognostickej a výstražnej službe SHMÚ. Pre prognózy na dlhšie časové obdobie sa podieľal na zavádzaní produktov numerických predpovedí Európskeho centra pre strednodobé predpovede (ECMWF). Vo svojej práci sa inšpiroval najnovšími zahraničnými trendami v rozvoji meteorológie. Po roku 2007 jubilant pracoval ako vedecký pracovník pre meteorológiu, kde zúročil svoje bohaté manažérske a odborné aktivity. Sústre-dil sa na koordináciu vedecko-výskumných prác a prevádz-

kových činností v oblasti meteorológie a klimatológie. Uvedená koordinácia sa uskutočňovala najmä na medzinárodnom poli. Súvisela s členstvom Slovenskej republiky v medzinárodných organizáciách (WMO, EUMETSAT a ECMWF), ako aj s členstvom SHMÚ v medzinárodných združeniach ALADIN a RC LACE. Neskôr, v pozícii vedeckého tajomníka GR SHMÚ sa venoval tvorbe koncepcií výskumu a vývoja SHMÚ. Bol členom poradnej rady Global Monitoring for Environment and Security a členom niektorých riadiacich a poradných orgánov EUMETSAT, a tiež členom poradného výboru pre údajovú politiku ECMWF. V roku 2016 odišiel do dôchodku. Dlhé roky je členom redakčnej rady Meteorologického časopisu, kde v rokoch 2008–2016 zastával funkciu predsedu redakčnej rady tohto odborného periodika. Je členom viacerých odborných spoločností, Slovenskej meteorologickej spoločnosti (v rokoch 2009 až 2016 bol jej predsedom) a členom Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti.

Čo sa týka jeho mimopracovných aktivít, treba spomenúť, že horolezectvo je celoživotnou a vonkoncom nie platonickou láskou Dr. Pastirčáka. V mladosti sa horolezectvu venoval aj reprezentačne, liezol v Pamíre, rakúskych, francúzskych a talianskych Alpách, a v našich končinách najčastejšie v Tatrách. Aj teraz sa venuje skalolezectvu, a s partiou priateľov si chodí zalievať doma i v zahraničí. Takto sa tréningom i samotným lezením udržiava v dobrej fyzickej kondícii. S Vladimírom sa poznám už od vysokej školy, v živej pamäti mám ako sme sa spolu boli prihlásiť na špecializáciu meteorológia a klimatológia. Poznáam ho ako veselého spoločníka, so svojiským chytľavým humorm, ktorý vie zanietene diskutovať a zaujímavo rozprávať. So svojimi spolužiakmi z vysokej školy sa stretávame každoročne pred Vianocami. Počnúc jeseňou a v budúcom roku tento krúžok oslávi svoje sedemdesiatiny. Kiež by sme sa mohli takto čo najdlhšie stretávať. Prajem jubilantovi veľa dobrého zdravia, aby si mohol svoj koníček naďalej aktívne užívať a najmä to, aby sa jeho najbližší, a aj my ostatní, známi a priatelia, tešili z jeho inšpirujúceho spolupútництва v našom živote.

*Pavel Šťastný
SHMÚ, Bratislava*

JUBILANTKA Ing. JANA POÓROVÁ, PhD.

Ing. Jana Poórová, PhD. sa narodila 29.10.1961 v Bratislave, kde získala aj základné a stredoškolské vzdelanie. Vo vysokoškolskom štúdiu pokračovala v rokoch 1980–1985 na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave, Stavebnej fakulte a inžiniersky titul jej bol udelený v odbore: Vodné hospodárstvo a vodné stavby. Po skončení vysokoškolského štúdia v roku 1985 až do dnes je jej život spätý so Slovenským hydrometeorologickým ústavom. Ako čerstvá absolventka nastúpila na odbor hydrológie povrchových vôd, oddelenie aplikovanej hydrológie, kde pracovala až do roku 1991. V tomto období sa podieľala na viacerých vedecko-výskumných úlohách v oblasti hydrológie povrchových vôd. Na spracovaní hydrologických charakteristík za nové reprezentatívne obdobie, bola aj zodpovednou riešiteľkou výskumnej úlohy „Extrapolácia hydrologických štatistík Cv a Cs“ a výskumno - rozborovej úlohy k spracovaniu

STN Hydrológia, hydrologické údaje povrchových vôd, kvantifikácia malej vodnosti: Stanovenie miery ovplyvnenia hydrologického režimu povrchových vôd.

Začiatkom 90-tych rokov sa začala viac venovať, a následne aj koordinovala spracovanie Kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie povrchových vôd. V tomto období sa zapojila aj do kolektívu hydrológov hydrologickej služby SHMÚ pod vedením Dr. Majerčákovskej, ktorí uviedli a dokumentovali po prvý raz na odbornom stretnutí na Slovensku zistenia o možnom vplyve klimatických zmien na hydrologický režim. Tieto poznatky a výsledky sa postupne publikovali v rámci Národného klimatického programu SR. V druhej polovici 90-tych rokov sa podieľala na príprave novej smernice v oblasti vôd, Rámcová smernica o vodách, v rámci transpozície EU legislatívy v oblasti vôd v prístupovom období SR do EU.

V roku 2006 sa stala riaditeľkou divízie Hydrologická služba. Aj napriek náročnej pozícii riadiacej pracovníčky, v ktorej pôsobí dodnes, naďalej spolupracuje na vedecko-výskumnej činnosti v oblasti hydrológie povrchových vôd.

V roku 2007 obhájila dizertačnú prácu s názvom Metódy vodohospodárskej bilancie, a titul PhD. jej bol udelený v študijnom odbore Hydrológia a vodné hospodárstvo na Stavebnej fakulte, STU v Bratislave. Problematike vodohospodárskej bilancie sa kontinuálne venuje dodnes. Taktiež sa podieľala na mnohých expertízach a štúdiách v rámci Ministerstva ŽP SR a jeho rezortných organizácií, na príprave stanovísk a metodických podkladov pre rokovania v oblasti vôd. Bola a je súčasťou legislatívneho procesu v oblasti vôd, najmä pri tvorbe nového ďalšieho zákona o vodách (č. 364/2004 Z. z. a jeho novelách), zákona o ochrane pred povodňami (7/2010 Z. z.) a ich vykonávacích predpisoch. Ing. J. Poórová bola aj členkou odbornej skupiny, ktorá pripravila návrh zákona č. 201/2009 Z. z. o štátnej hydrologickej službe a štátnej meteorologickej službe, ktorý je v súčasnosti základným zákonom pre činnosť Slovenského hydrometeorologického ústavu, vrátane Hydrologickej služby. Ako členka PS Európskej komisie (EK) pre suchu a nedostatok vody bola v rokoch 2012–2014 aj členkou Ad-hoc skupiny, ktorá mala navrhnúť indikátor pre hodnotenie sucha v oblasti vôd. V roku 2014 v rámci pracovnej skupiny EK, zaoberajúcou sa ekologickými prietokmi bola spoluautorkou prípadovej štúdie: Využitie vodohospodárskej bilancie ako nástroj pre hodnotenie kvantitatívneho vzťahu medzi požiadavkami na vodu a vodnými zdrojmi (vrátane stanovenia minimálnych bilančných prietokov).

Ing. J. Poórová, PhD. je autorkou mnoho vedeckých a odborných článkov, vrátane monografií. Zúčastňuje sa aktívne na mnohých odborných konferenciách doma aj v zahraničí. Je členkou redakčnej rady Meteorologický časopis, Vodohospodársky spravodajca, Vodohospodárske technicko-ekonomické informácie. Podieľa sa na riešení niekoľkých APVV projektov. Okrem hydrológie sa venuje svojej rodine, najmä svojim vnúčatám, za ktorými cestuje tak do Bernolákova ako aj do ďalekej Austrálie.

Jubilantke Janke prajeme pevné zdravie, želáme ešte veľa elánu a nápadov pri riadení a riešení úloh hydrológie. V mene kolegov SHMÚ ďakujeme za spoluprácu, s vďakou

*Zuzana Danáčová
SHMÚ Bratislava*

POKYNY PRE AUTOROV

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

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

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

alebo

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

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

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

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

or

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

