

ISSN 1335-339X

# METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

## METEOROLOGICAL JOURNAL

**2022**

ROČNÍK 25 - ČÍSLO 2  
VOLUME 25 - 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>.

#### **PRESEDA 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

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

Pavol Nejedlík, SAV, 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

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 2022

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

**2022**

ROČNÍK 25 – ČÍSLO 2

VOLUME 25 – NUMBER 2

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV  
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



## CONTENTS

|   |     |
|---|-----|
| <b>EVOLUTION OF THE LONG-TERM AVERAGE VALUES OF AIR TEMPERATURE AND ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN SLOVAKIA</b><br>Pavel Faško, Oliver Bochníček, Ladislav Markovič.....                          | 79  |
| <b>RIO INTERPOLATION-REGRESSION MODEL - SELECTED MODELING RESULTS FOR 2021</b><br>Juraj Beňo, Jana Matejovičová,<br>Dušan Štefánik, Jana Krajčovičová .....                                     | 89  |
| <b>BENZO(A)PYRENE IN AMBIENT AIR IN SLOVAKIA</b><br>Jana Matejovičová, Juraj Beňo, Jana Krajčovičová,<br>Ján Klimek, Slavomír Melicher, Martin Kremler,<br>Dušan Štefánik, Vladimír Nemček..... | 99  |
| <b>SATELLITE MEASUREMENTS OF INSOLATION AND THEIR USE IN THE EVALUATION OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT EFFICIENCY</b><br>Peter Kaňák, Ľuboslav Okon .....  | 111 |
| <b>COLLECTING METADATA OF THE 150-YEARS LONG HURBANOVO ATMOSPHERIC PRESSURE SERIES</b><br>Ľubomír Babin, Pavol Faško, Dániel Henzel,<br>Tibor Lieskovský, Jozef Pecho, Dalibor Výberčí .....    | 119 |

## INFORMATION

|   |     |
|---|-----|
| <b>The evaluation of drought impacts in Slovakia in 2021 and 2022</b><br>Maroš Turňa .....  | 131 |
| <b>COST FAIRNESS summer school</b><br>Kristína Szabóová .....   | 133 |
| <b>3<sup>rd</sup> meeting with drought impacts reporters in Topoľčianky</b><br>Gabriela Ivaňáková.....  | 134 |
| <b>Participation in the 17<sup>th</sup> annual meeting of European Flood Awareness System (EFAS)</b><br>Martin Halaj, Michaela Mikuličková, Hana Hlaváčiková..... | 134 |
| <b>Methodological meeting of the Meteorological Networks Dpt.</b><br>Terézia Melicherová .....  | 137 |
| <b>Young scientist conference 2022</b><br>Alena Blahová, Danica Lešková .....   | 138 |
| <b>Outcomes from the Negotiations on 27<sup>th</sup> Climate Conference in Egypt</b><br>Janka Szemesová .....   | 140 |
| <b>Conference "Air protection 2022"</b><br>Janka Szemesová, Tereza Šedivá.....  | 140 |
| <b>Activity of Slovak Meteorological Society in 2022</b><br>Paulína Valová.....   | 141 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>PERSONALS</b> ..... | 143 |
|------------------------|-----|

## OBSAH

|  |     |
|--|-----|
| <b>VÝVOJ DLHODOBÝCH PRIEMERNÝCH HODNÔT TEPLoty VZDUCHU A ÚHRNU ATMOSFÉRIKÝCH ZRÁŽOK NA ÚZEMÍ SLOVENSKA</b><br>Pavel Faško, Oliver Bochníček, Ladislav Markovič .....                       | 79  |
| <b>INTERPOLAČNO-REGRESNÝ MODEL RIO - VYBRANÉ VÝSLEDKY MODELOVANIA PRE ROK 2021</b><br>Juraj Beňo, Jana Matejovičová,<br>Dušan Štefánik, Jana Krajčovičová.....                             | 89  |
| <b>BENZO(A)PYRÉN V OVZDUŠÍ NA SLOVENSKU</b><br>Jana Matejovičová, Juraj Beňo, Jana Krajčovičová,<br>Ján Klimek, Slavomír Melicher, Martin Kremler,<br>Dušan Štefánik, Vladimír Nemček..... | 99  |
| <b>SATELITNÉ MERANIA SLNEČNÉHO ŽIARENIA DOPADAJÚCEHO NA ZEMSKÝ POVRCH A ICH VYUŽITIE PRI HODNOTENÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTICKÝCH ELEKTRÁRNÍ</b><br>Peter Kaňák, Ľuboslav Okon .....             | 111 |
| <b>ZOSTAVENIE METADÁTOVÉHO SÚBORU 150-ROČNÉHO HURBANOVSKÉHO RADU TLAKU VZDUCHU</b><br>Ľubomír Babin, Pavol Faško, Dániel Henzel,<br>Tibor Lieskovský, Jozef Pecho, Dalibor Výberčí.....    | 119 |

## INFORMÁCIE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Zhodnotenie dopadov sucha na Slovensku v rokoch 2021 a 2022</b><br>Maroš Turňa .....  | 131 |
| <b>Letná škola COST FAIRNESS</b><br>Kristína Szabóová.....   | 133 |
| <b>3. ročník stretnutia s reportérmi dopadov sucha v Topoľčiankach</b><br>Gabriela Ivaňáková .....   | 134 |
| <b>Účasť na 17. výročnom mítingu Európskeho povodňového varovného systému (EFAS)</b><br>Martin Halaj, Michaela Mikuličková, Hana Hlaváčiková ..... | 134 |
| <b>Metodická porada odboru Meteorologické siete</b><br>Terézia Melicherová .....   | 137 |
| <b>Konferencia mladých odborníkov 2022</b><br>Alena Blahová, Danica Lešková .....  | 138 |
| <b>Zhodnotenie rokovaní na 27. klimatickej konferencii v Egypte</b><br>Janka Szemesová.....  | 140 |
| <b>Konferencia Ochrana ovzdušia 2022</b><br>Janka Szemesová, Tereza Šedivá .....   | 140 |
| <b>Činnosť Slovenskej meteorologickej spoločnosti v roku 2022</b><br>Paulína Valová.....   | 141 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>PERSONÁLIE</b> ..... | 143 |
|-------------------------|-----|

# EVOLUTION OF THE LONG-TERM AVERAGE VALUES OF AIR TEMPERATURE AND ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN SLOVAKIA

PAVEL FAŠKO<sup>1</sup>, OLIVER BOCHNÍČEK<sup>1</sup>, LADISLAV MARKOVIČ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Slovak Hydrometeorological Institute, Climatological service, paval.fasko@shmu.sk, oliver.bochnicek@shmu.sk, ladislav.markovic@shmu.sk

<sup>2</sup> Faculty of mathematics, physics and informatics, Comenius University, Bratislava, ladislav.markovic@fmph.uniba.sk

*This study deals with the analysis of the changes in the long-term average air temperature values and atmospheric precipitation totals. The analysis includes changes in monthly, seasonal, and annual values of average daily air temperature and daily total precipitation at 15 selected meteorological stations located within the territory of Slovakia with available long-term average values. These average values are processed in the form of the standard climatological normal values for 3 non overlapping 30-year periods from 1931 to 2020 (1931–1960, 1961–1990, 1991–2020) and two supplementary 30-year periods (1951–1980, 1981–2010). Results of our analysis point to the general increase in air temperature. The warming is most pronounced in the summer, especially in August, where the change between the compared normal periods reached +2.0 °C. Changes in atmospheric precipitation totals are generally not spatially homogenous, but in some cases can be as significant as temperature changes. A good example of which is the relatively significant increase in precipitation totals in November.*

*Naša štúdia sa zaoberá analýzou zmeny dlhodobých priemerných hodnôt teploty vzduchu a úhrnu atmosférických zrážok. V spracovaní sú zahrnuté zmeny mesačných, sezónnych a ročných hodnôt priemernej dennej teploty vzduchu a denného úhrnu zrážok na 15 vybraných meteorologických staniách nachádzajúcimi sa na území Slovenska so spracovanými hodnotami dlhodobých priemerných hodnôt – klimatických normálov pre 30 ročné obdobia od roku 1931 do roku 2020. Výstupy spracovania poukazujú na všeobecný vzostup teploty, pričom v priestorovej mierke sa najviac otepluje v lete, konkrétne v mesiaci august, kde bol medzi porovnávanými normálovými obdobiami zaznamenaný nárast dosahujúci +2.0 °C. Pri úhrnoch atmosférických zrážok pozorujeme zmeny v ich ročnom režime vyjadrenými aj všeobecne výrazným nárastom zrážok na jeseň, predovšetkým v mesiaci november.*

**Key words:** climatological normal, average air temperature, average precipitation total, climate change

## INTRODUCTION

Processing the results of meteorological measurements from thirty-year periods into climatological standards represents an important landmark in the activity of climatologists. In the past, it used to be accepted as a routine activity, because results of these analyzes did not tend to differ significantly. However, comparing long-term average values of meteorological measurements (climatological normal values) between the last two periods 1961–1990 and 1991–2020 is currently a very interesting activity that reveals new and important facts.

Climate change-induced warming has changed the stable climatic conditions. It can even manifest itself in the form of certain peculiarities in the rate of warming in the annual regime. In the case of atmospheric precipitation, the interim comparison is even more complicated (IPCC, 2014; 2022).

## DATA AND METHODS

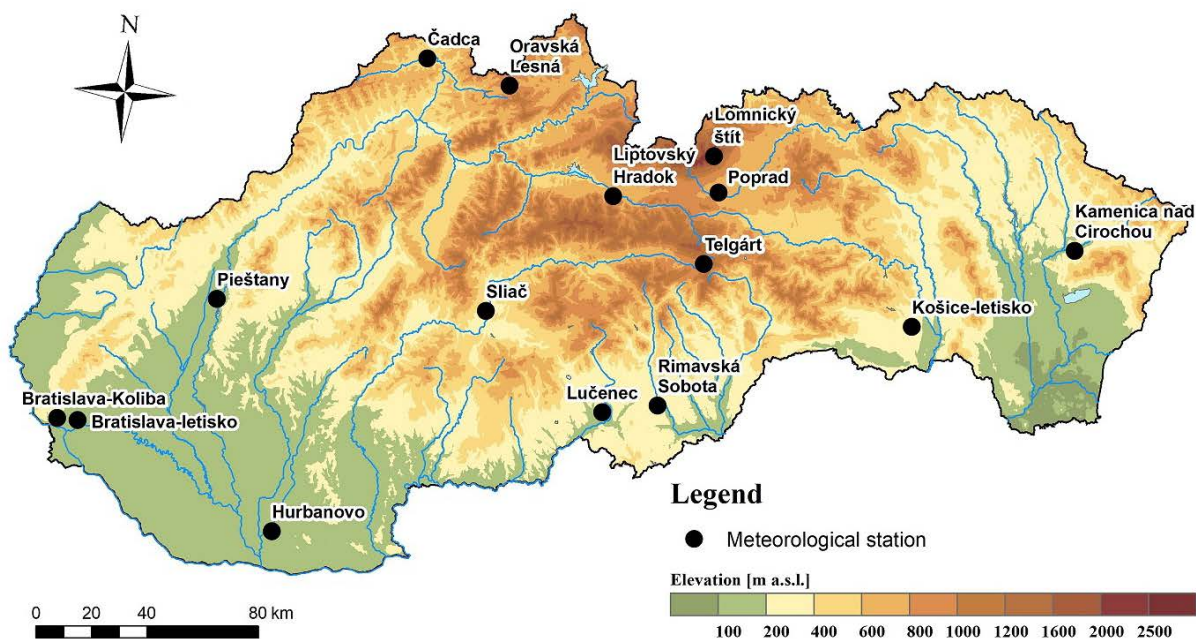
Our paper analyzes the results of meteorological measurements in a sample set containing 15 meteorological stations operated by the Slovak Hydrometeorological Institute

(SHMÚ) with focus on the period 1951–2020. All these stations were performing meteorological observations in the territory of Slovakia during the 90-year period 1931–2020 (Tab. 1, Fig. 1). Spatial and vertical distribution within the network of stations included in the analysis should be representative in the respect to the varied geomorphological conditions of Slovakia. Their choice was limited by the

**Table 1.** Table of selected meteorological stations within the territory of Slovakia sorted by an elevation [m a.s.l.].

|     | WMO index | Station               | Elevation [m a.s.l.] |
|-----|-----------|-----------------------|----------------------|
| 1.  | 11958     | Hurbanovo             | 115                  |
| 2.  | 11816     | Bratislava, airport   | 133                  |
| 3.  | 11826     | Piešťany              | 163                  |
| 4.  | 11993     | Kamenica nad Cirochou | 176                  |
| 5.  | 11927     | Lučenec               | 214                  |
| 6.  | 11942     | Rimavská Sobota       | 215                  |
| 7.  | 11968     | Košice, airport       | 230                  |
| 8.  | 11913     | Bratislava, Koliba    | 287                  |
| 9.  | 11903     | Sliač                 | 313                  |
| 10. | 11866     | Čadca                 | 456                  |
| 11. | 11874     | Liptovský Hradok      | 640                  |
| 12. | 11934     | Poprad                | 694                  |
| 13. | 11968     | Oravská Lesná         | 780                  |
| 14. | 11938     | Telgárt               | 901                  |
| 15. | 11930     | Lomnický štít         | 2635                 |

Figure 1. Selected meteorological stations within the territory of Slovakia.



availability of quality, consistent and uninterrupted time series of air temperature and atmospheric precipitation measurements. Our research was conducted on the average monthly, seasonal, and annual air temperature and precipitation totals. Selection of climatological normal values included in the analysis consisted of standard climatological normals 1931–1960 (3160) (HMÚ, 1961; 1966; 1969), 1951–1980 (5180), 1961–1991 (6190) (Mikulová et al., 2015) 1981–2010 (8110) and the newest climatological normal 1991–2020 (9120). Climatological normal 9120 should serve as a proxy for the current climatic conditions in Slovakia. However, the period 1961–1990 should be, based on the WMO’s directive, retained as a standard reference period for long-term climate change assessments (WMO, 2011; 2017). Basis for our analysis are comparisons of average air temperature values and precipitation totals between current normal 9120 and other selected normal periods. These comparisons are calculated as a simple subtraction whereas the period 9120 is always acting as a minuend and other normal periods (3160, 5180, 6190 and 8110) are always acting as subtrahends. If we expect 9120 period to be warmer or wetter than the previous normal period, then the difference should be a positive number.

The mean spatial value (MST) was selected as an indicator that can express the significance of changes in the values of air temperature for the entire area of interest. Its value has changed significantly for the selected air temperature characteristics. The territorial average for Slovakia in the form of the MST was calculated as a weighted average from the homogenized data of 15 meteorological stations with continuous measurement and observation since at least 1951. This method of calculation as well as the fixed list of stations is based on traditional processing methods. Its goal is to maintain continuity for the detection of natural trends. Since the MST is presented in a form of a single number for

the whole territory, it must be calculated as a weighted average. The main reason to use the weighted average approach is the inclusion of the Lomnický štít station. It is located in an eccentric mountain peak position in the Vysoké Tatry Mountains, and values measured at this station are therefore highly divergent from values measured at the lower elevations. To lower influence of this high elevation data set on the whole data set, it was necessary to weight it lower as data from the other stations included in the analysis. The weight used for the Lomnický štít station was therefore equal to 0.1 and the weight used for all other 14 stations was equal to 1.

#### AVERAGE MONTHLY AIR TEMPERATURE

If we focus on the severity of warming in individual months of the year (Tab. 2), then the most significant increases in the average monthly air temperature were recorded in the summer months. The most significant change was documented in August, in which the difference between periods 1991–2020 and 1961–1990 (9120\_6190) and periods 1990–2020 and 1951–1981 (9120\_5180) reached +2.0 °C. January continues the warming trend from the summer months with warming exceeding 1.7 °C recorded in the comparisons 9120\_6190 and 9120\_5180. Slightly less pronounced warming was, for example, recorded in April with 1.5 °C increase in the comparison 9120\_6190 and 1.7 °C increase recorded in the comparison 9120\_5180. The higher rate of warming recorded in the comparison of the long-term average monthly air temperature between the periods 1991–2020 and 1951–1980 corresponds to the overall warming trend since the middle of the 20<sup>th</sup> century. However, this is not the case for all months of the year. The exception to this rule is, for example, warming in January, June, November and December, when the warming between

**Table 2. Change in the mean monthly air temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] between the current climatological normal 1991 – 2020 (9120) and the previous climatological normal 1931 – 1960 (3160), 1951 – 1980 (5180), 1961 – 1990 (6190) and 1981 – 2010 (8110) at selected meteorological stations in Slovakia.**

| WMO Index | 9120_3160 |     |     |      | 9120_5180 |     |     |     | 9120_6190 |     |     |     | 9120_8110 |     |     |      |     |     |     |      |      |      |     |     |
|-----------|-----------|-----|-----|------|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|
|           | JAN       | FEB | MAR | APR  | MAY       | JUN | JUL | AUG | SEP       | OCT | NOV | DEC | JAN       | FEB | MAR | APR  | MAY | JUN | JUL | AUG  | SEP  | OCT  | NOV | DEC |
| 11813     | 2.1       | 1.7 | 1.7 | 0.5  | 2.0       | 1.5 | 1.2 | 0.6 | 1.7       | 1.5 | 1.1 | 0.6 | 1.4       | 1.7 | 1.5 | 0.6  | 0.9 | 1.4 | 1.0 | 0.0  | 1.5  | 1.6  | 1.7 | 1.0 |
| 11816     | 2.1       | 1.8 | 1.7 | 0.6  | 1.9       | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 1.6       | 1.5 | 1.1 | 0.5 | 1.4       | 1.8 | 1.5 | 0.7  | 1.0 | 1.5 | 1.1 | 0.1  | 1.6  | 1.8  | 1.9 | 1.0 |
| 11826     | 1.5       | 1.0 | 1.2 | 0.5  | 1.4       | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 1.1       | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 1.1       | 1.3 | 1.2 | 0.6  | 0.7 | 1.3 | 0.9 | 0.1  | 1.3  | 1.4  | 1.7 | 1.0 |
| 11858     | 2.2       | 1.6 | 1.6 | 0.6  | 2.0       | 1.1 | 0.9 | 0.7 | 1.5       | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 1.5       | 1.5 | 1.4 | 0.7  | 1.2 | 1.4 | 1.0 | 0.0  | 1.7  | 1.4  | 1.6 | 0.9 |
| 11866     |           | 1.2 | 1.2 | 0.4  |           | 1.2 | 0.8 | 0.7 |           | 0.7 | 0.2 | 0.0 |           | 1.4 | 1.0 | 0.6  |     | 0.9 | 0.4 | -0.3 |      | 1.0  | 1.2 | 0.6 |
| 11868     | 2.1       | 1.4 | 1.5 | 0.5  | 2.1       | 1.6 | 1.3 | 1.0 | 1.3       | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 1.1       | 1.4 | 1.1 | 0.6  | 0.8 | 1.5 | 1.0 | 0.1  | 1.2  | 1.5  | 1.7 | 1.1 |
| 11874     | 2.2       | 1.5 | 1.5 | 0.5  | 2.1       | 1.3 | 1.0 | 0.7 | 1.5       | 1.3 | 0.9 | 0.6 | 1.5       | 1.4 | 1.1 | 0.6  | 1.2 | 1.4 | 1.0 | 0.0  | 1.3  | 1.3  | 1.4 | 0.5 |
| 11903     | 1.9       | 1.4 | 1.3 | 0.4  | 1.5       | 0.9 | 0.5 | 0.6 | 1.4       | 1.2 | 0.9 | 0.6 | 1.6       | 1.7 | 1.3 | 0.8  | 1.4 | 1.8 | 1.2 | 0.5  | 1.4  | 1.5  | 1.7 | 1.0 |
| 11927     | 1.6       | 1.4 | 1.6 | 0.5  | 1.3       | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 1.0       | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.7       | 1.1 | 1.1 | 0.6  | 0.3 | 1.1 | 1.1 | 0.3  | 0.6  | 1.1  | 1.7 | 1.0 |
| 11930     | 1.7       | 1.2 | 1.1 | 0.2  | 1.2       | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.7       | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 1.2       | 1.2 | 1.0 | 0.7  | 0.9 | 1.2 | 0.8 | 0.1  | 1.3  | 1.3  | 1.7 | 1.1 |
| 11934     | 2.2       | 1.3 | 1.3 | 0.4  | 1.6       | 1.1 | 1.0 | 0.6 | 1.3       | 1.3 | 0.7 | 0.3 | 1.5       | 1.6 | 1.2 | 0.7  | 1.0 | 1.4 | 0.9 | 0.2  | 1.3  | 1.4  | 1.4 | 1.0 |
| 11938     | 1.8       | 1.4 | 1.4 | 0.4  | 1.5       | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 1.2       | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 1.3       | 1.4 | 1.1 | 0.6  | 0.7 | 1.2 | 0.8 | 0.1  | 1.2  | 1.2  | 1.5 | 1.1 |
| 11942     | 2.0       | 1.6 | 1.6 | 0.4  | 1.9       | 0.9 | 0.6 | 0.6 | 1.3       | 1.3 | 0.8 | 0.4 | 1.3       | 1.4 | 1.1 | 0.4  | 0.8 | 1.3 | 0.9 | 0.1  | 1.3  | 1.6  | 1.7 | 0.9 |
| 11968     | 1.7       | 1.5 | 1.6 | 0.5  | 1.7       | 1.1 | 0.9 | 0.7 | 1.6       | 1.6 | 1.1 | 0.6 | 1.8       | 1.8 | 1.4 | 0.7  | 0.9 | 1.6 | 1.1 | 0.1  | 1.5  | 1.6  | 1.8 | 0.9 |
| 11993     | 2.1       | 1.6 | 1.8 | 0.6  | 1.8       | 1.1 | 0.9 | 0.7 | 1.5       | 1.2 | 0.8 | 0.5 | 1.4       | 1.2 | 1.0 | 0.6  | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 0.2  | 1.3  | 1.3  | 1.6 | 0.9 |
| 11813     | 1.2       | 1.9 | 1.7 | 0.6  | 1.6       | 2.2 | 2.1 | 0.8 | 0.0       | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.5       | 0.5 | 0.4 | 0.2  | 0.9 | 0.9 | 1.2 | 0.7  | 0.3  | 0.4  | 0.6 | 0.3 |
| 11816     | 1.4       | 2.2 | 1.9 | 0.7  | 1.7       | 2.4 | 2.2 | 0.8 | 0.3       | 1.0 | 0.8 | 0.3 | 0.7       | 1.0 | 0.8 | 0.3  | 0.8 | 0.9 | 1.3 | 0.8  | 0.3  | 0.4  | 0.6 | 0.4 |
| 11826     | 1.2       | 1.9 | 1.9 | 0.6  | 1.6       | 2.1 | 2.0 | 0.8 | 0.1       | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5       | 0.6 | 0.5 | 0.3  | 0.7 | 0.9 | 1.3 | 0.9  | 0.0  | 0.2  | 0.6 | 0.4 |
| 11858     | 1.5       | 1.9 | 1.8 | 0.6  | 1.8       | 2.0 | 1.9 | 0.8 | 0.4       | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.8       | 0.8 | 0.6 | 0.2  | 0.9 | 0.9 | 1.2 | 0.9  | 0.4  | 0.2  | 0.6 | 0.4 |
| 11866     |           | 1.3 | 1.3 | 0.2  |           | 1.4 | 1.3 | 0.5 |           | 0.4 | 0.1 | 0.2 |           | 0.3 | 0.1 | -0.1 |     | 0.5 | 0.8 | 0.7  |      | 0.2  | 0.7 | 0.5 |
| 11868     | 0.9       | 1.7 | 1.8 | 0.6  | 1.2       | 1.8 | 1.8 | 0.8 | 0.1       | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 1.9       | 0.6 | 0.4 | 0.2  | 0.4 | 0.8 | 1.1 | 1.0  | -0.2 | 0.2  | 0.7 | 0.4 |
| 11874     | 0.9       | 1.4 | 1.4 | -0.1 | 1.3       | 1.8 | 1.8 | 0.5 | 0.0       | 0.6 | 0.3 | 0.0 | 0.8       | 0.8 | 0.7 | 0.3  | 1.1 | 1.0 | 1.4 | 1.0  | 0.1  | 0.5  | 1.0 | 0.6 |
| 11903     | 1.3       | 2.1 | 1.8 | 0.6  | 1.6       | 2.2 | 1.9 | 0.6 | 0.5       | 1.0 | 0.6 | 0.2 | 0.7       | 0.7 | 0.5 | 0.3  | 0.7 | 0.6 | 1.0 | 0.9  | -0.2 | 0.1  | 0.4 | 0.5 |
| 11927     | 0.2       | 1.2 | 1.6 | 0.5  | 0.9       | 1.6 | 1.8 | 0.7 | 0.0       | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.4       | 0.5 | 0.4 | 0.3  | 0.2 | 0.5 | 1.1 | 0.9  | -0.5 | -0.2 | 0.4 | 0.4 |
| 11930     | 1.1       | 1.6 | 1.8 | 0.6  | 1.7       | 2.0 | 2.0 | 0.9 | 0.3       | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.8       | 0.3 | 0.2 | 0.2  | 1.1 | 0.9 | 1.3 | 1.2  | 0.7  | 0.7  | 1.0 | 0.5 |
| 11934     | 0.9       | 1.5 | 1.4 | 0.5  | 1.2       | 1.8 | 1.7 | 0.7 | 0.0       | 0.5 | 0.1 | 0.3 | 0.5       | 0.6 | 0.2 | 0.2  | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.7  | 0.1  | 0.2  | 0.5 | 0.5 |
| 11938     | 0.8       | 1.3 | 1.4 | 0.6  | 1.2       | 1.7 | 1.7 | 0.9 | -0.1      | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4       | 0.3 | 0.2 | 0.3  | 0.9 | 0.8 | 1.1 | 0.9  | -0.2 | 0.3  | 0.7 | 0.3 |
| 11942     | 1.0       | 1.8 | 1.6 | 0.3  | 1.5       | 2.1 | 1.9 | 0.5 | 0.2       | 0.9 | 0.5 | 0.2 | 0.6       | 0.9 | 0.6 | 0.3  | 0.6 | 0.7 | 1.0 | 0.8  | -0.1 | 0.0  | 0.4 | 0.4 |
| 11968     | 1.2       | 1.8 | 1.8 | 0.6  | 1.7       | 2.2 | 2.2 | 1.0 | 0.5       | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 0.9       | 0.9 | 0.7 | 0.3  | 0.7 | 0.9 | 1.3 | 0.9  | -0.2 | 0.4  | 0.7 | 0.5 |
| 11993     | 1.0       | 1.6 | 1.8 | 0.6  | 1.3       | 1.8 | 2.0 | 0.9 | 0.2       | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.7       | 0.7 | 0.6 | 0.3  | 0.8 | 0.6 | 1.0 | 0.9  | 0.0  | 0.3  | 0.9 | 0.6 |

the periods 9120 and 6190 was slightly more pronounced than the one between the periods 9120 and 5180. This finding confirms the fact that the warming process has not followed the same warming pattern in all months in the analyzed 70-year period. Autumn months – September, October, and November, together with December, represents a group of months with the smallest rate of detected warming. For example, the difference between the periods 9120 and 6190 was smaller than  $0.5^{\circ}\text{C}$  in October.

Seasonal and annual MST values are shown as deviations from normal 1991 – 2020 in Fig. 4. Deviations from normals for spring (Fig. 4A) and summer (Fig. 4B) are negative almost throughout the 20<sup>th</sup> century (some positive deviations are present especially during the spring in the 80s and during the summer in the 90s). This reality is then generally followed by significant fluctuations in the time series of deviations. Mostly positive deviations from normal are then occasionally alternated with the significant negative deviations (Fig. 4). The occurrence of relatively cold summers in the period 1951 – 1990 is noteworthy (Fig. 4B). This is the result of rapid warming and an exceptional shift in the mean summer temperature during the period 1991 – 2020. Larger fluctuation occurs in autumn (Fig. 4C) but especially in winter (Fig. 4D). However, significant warming still dominates in both seasons, especially in the decade 2001 – 2020. Exceptionally mild winters were recorded primarily in the seasons 2006/2007 and 2013/2014.

## AVERAGE SEASONAL AND ANNUAL AIR TEMPERATURE

Results of the seasonal analysis also points to the general increase in the average air temperature (Tab. 3). The warming was most pronounced in spring (III-V) (up to  $1.7^{\circ}\text{C}$  between 1991 – 2020 and 1961 – 1990) (Fig. 3) and up to  $1.8^{\circ}\text{C}$  between 1991 – 2020 and 1951 – 1980) and least pronounced in autumn (IX-XI) (increase  $> 0.2^{\circ}\text{C}$  1991 – 2020 1961 – 1990) (Fig. 2). Evaluation of changes in average air temperature indicates an increase of more than  $1^{\circ}\text{C}$  in these seasons between the periods 1991 – 2020 and 1961 – 1990 and 1991 – 2020 and 1951 – 1980. This rate of warming is extraordinary. The change in the long-term annual average, whether positive or negative, should not exceed a few tenths of a degree Celsius under standard climatic conditions (without the effects of climate change).

The values of inter-annual differences show smaller deviations compared to the differences in the seasonal or monthly analysis, which is understandable given smaller variability between annual values (Fig. 4). All annual average values recorded after 2010 were higher than the average value of the period 1991 – 2020. Warmest years on the record were observed during the period 1991 – 2020. Regarding seasonal values, the exceptionally warm seasons were, for example: spring 2007, 2014 and 2018, summer 2003, 2015, 2017, 2018, 2019, winter 2006/2007, 2013/2014.

**Table 3. Change in the mean seasonal and annual air temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] between the current climatological normal 1991 – 2020 (9120) and the previous climatological normal 1931 – 1960 (3160), 1951 – 1980 (5180), 1961 – 1990 (6190) and 1981 – 2010 (8110) at selected meteorological stations in Slovakia.**

| WMO Index | 9120_3160     |           |           |           | 9120_5180     |           |           |           | 9120_6190     |           |           |           | 9120_8110    |           |           |           |             |     |     |      |
|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----|-----|------|
|           | 9120_3160     | 9120_5180 | 9120_6190 | 9120_8110 | 9120_3160     | 9120_5180 | 9120_6190 | 9120_8110 | 9120_3160     | 9120_5180 | 9120_6190 | 9120_8110 | 9120_3160    | 9120_5180 | 9120_6190 | 9120_8110 |             |     |     |      |
|           | <b>SPRING</b> |           |           |           | <b>SUMMER</b> |           |           |           | <b>AUTUMN</b> |           |           |           | <b>WINER</b> |           |           |           | <b>YEAR</b> |     |     |      |
| 11813     | 2.1           | 1.7       | 1.7       | 0.5       | 2.0           | 1.5       | 1.2       | 0.6       | 1.7           | 1.5       | 1.1       | 0.6       | 1.4          | 1.7       | 1.5       | 0.6       | 0.9         | 1.4 | 1.0 | 0.0  |
| 11816     | 2.1           | 1.8       | 1.7       | 0.6       | 1.9           | 1.2       | 1.0       | 0.7       | 1.6           | 1.5       | 1.1       | 0.5       | 1.4          | 1.8       | 1.5       | 0.7       | 1.0         | 1.5 | 1.1 | 0.1  |
| 11826     | 1.5           | 1.0       | 1.2       | 0.5       | 1.4           | 0.8       | 0.6       | 0.6       | 1.1           | 0.9       | 0.6       | 0.4       | 1.1          | 1.3       | 1.2       | 0.6       | 0.7         | 1.3 | 0.9 | 0.1  |
| 11858     | 2.2           | 1.6       | 1.6       | 0.6       | 2.0           | 1.1       | 0.9       | 0.7       | 1.5           | 1.1       | 0.8       | 0.5       | 1.5          | 1.5       | 1.4       | 0.7       | 1.2         | 1.4 | 1.0 | 0.0  |
| 11866     |               | 1.2       | 1.2       | 0.4       |               | 1.2       | 0.8       | 0.7       |               | 0.7       | 0.2       | 0.0       |              | 1.4       | 1.0       | 0.6       |             | 0.9 | 0.4 | -0.3 |
| 11868     | 2.1           | 1.4       | 1.5       | 0.5       | 2.1           | 1.6       | 1.3       | 1.0       | 1.3           | 1.2       | 0.8       | 0.4       | 1.1          | 1.4       | 1.1       | 0.6       | 0.8         | 1.5 | 1.0 | 0.1  |
| 11874     | 2.2           | 1.5       | 1.5       | 0.5       | 2.1           | 1.3       | 1.0       | 0.7       | 1.5           | 1.3       | 0.9       | 0.6       | 1.5          | 1.4       | 1.1       | 0.6       | 1.2         | 1.4 | 1.0 | 0.0  |
| 11903     | 1.9           | 1.4       | 1.3       | 0.4       | 1.5           | 0.9       | 0.5       | 0.6       | 1.4           | 1.2       | 0.9       | 0.6       | 1.6          | 1.7       | 1.3       | 0.8       | 1.4         | 1.8 | 1.2 | 0.5  |
| 11927     | 1.6           | 1.4       | 1.6       | 0.5       | 1.3           | 0.7       | 0.7       | 0.6       | 1.0           | 0.9       | 0.8       | 0.4       | 0.7          | 1.1       | 1.1       | 0.6       | 0.3         | 1.1 | 1.1 | 0.3  |
| 11930     | 1.7           | 1.2       | 1.1       | 0.2       | 1.2           | 0.8       | 0.7       | 0.6       | 0.7           | 0.6       | 0.4       | 0.3       | 1.2          | 1.2       | 1.0       | 0.7       | 0.9         | 1.2 | 0.8 | 0.1  |
| 11934     | 2.2           | 1.3       | 1.3       | 0.4       | 1.6           | 1.1       | 1.0       | 0.6       | 1.3           | 1.3       | 0.7       | 0.3       | 1.5          | 1.6       | 1.2       | 0.7       | 1.0         | 1.4 | 0.9 | 0.2  |
| 11938     | 1.8           | 1.4       | 1.4       | 0.4       | 1.5           | 1.0       | 0.8       | 0.6       | 1.2           | 1.0       | 0.7       | 0.5       | 1.3          | 1.4       | 1.1       | 0.6       | 0.7         | 1.2 | 0.8 | 0.1  |
| 11942     | 2.0           | 1.6       | 1.6       | 0.4       | 1.9           | 0.9       | 0.6       | 0.6       | 1.3           | 1.3       | 0.8       | 0.4       | 1.3          | 1.4       | 1.1       | 0.4       | 0.8         | 1.3 | 0.9 | 0.1  |
| 11968     | 1.7           | 1.5       | 1.6       | 0.5       | 1.7           | 1.1       | 0.9       | 0.7       | 1.6           | 1.6       | 1.1       | 0.6       | 1.8          | 1.8       | 1.4       | 0.7       | 0.9         | 1.6 | 1.1 | 0.1  |
| 11993     | 2.1           | 1.6       | 1.8       | 0.6       | 1.8           | 1.1       | 0.9       | 0.7       | 1.5           | 1.2       | 0.8       | 0.5       | 1.4          | 1.2       | 1.0       | 0.6       | 0.8         | 1.2 | 0.8 | 0.2  |

**Figure 2. Change in the mean autumn air temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] between the current climatological normal values 1991 – 2020 and the previous climatological normals 1931 – 1960, 1961 – 1990 and 1981 – 2010 at selected meteorological stations in Slovakia.**

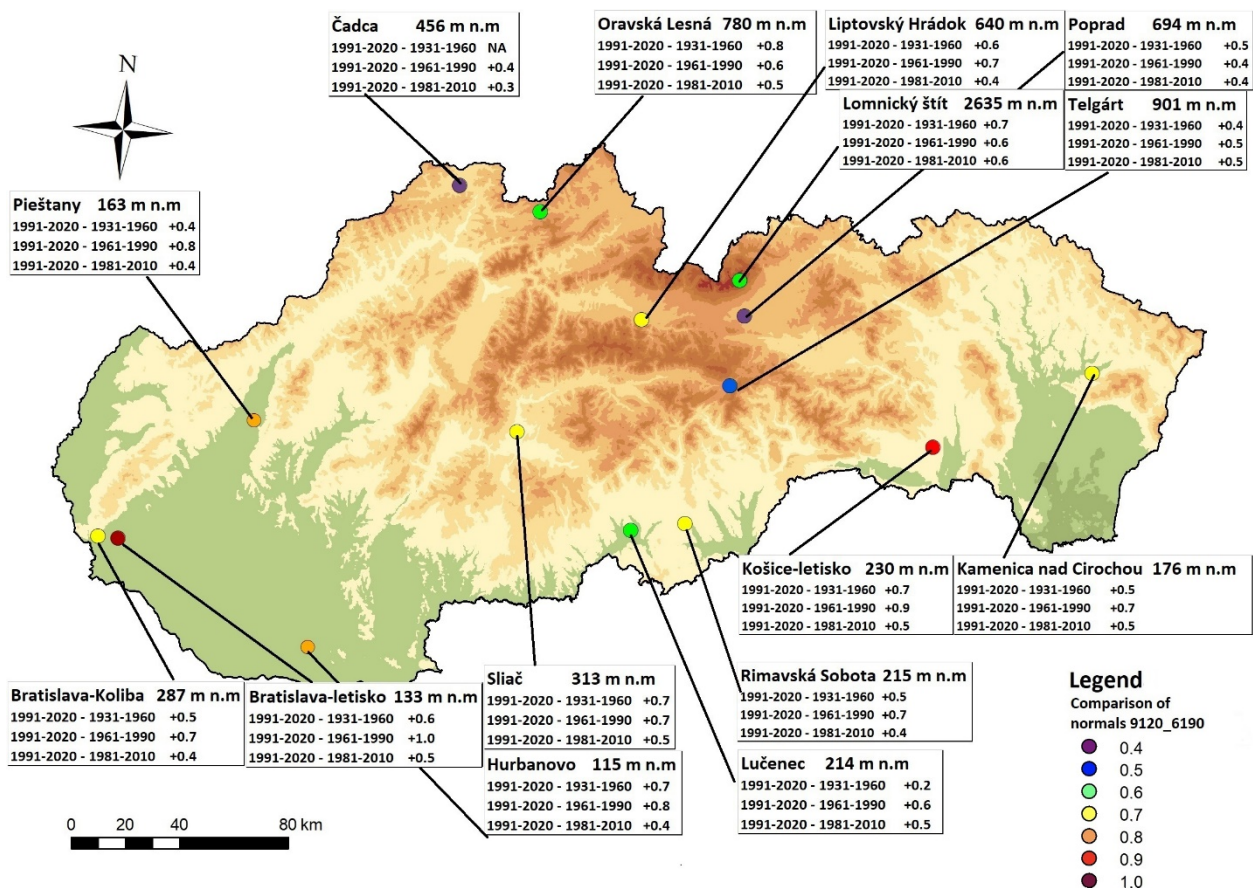




Figure 3. Change in the mean summer air temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] between the current climatological normal 1991 – 2020 and the previous climatological normals 1931 – 1960, 1961 – 1990 and 1981 – 2010 at selected meteorological stations in Slovakia.

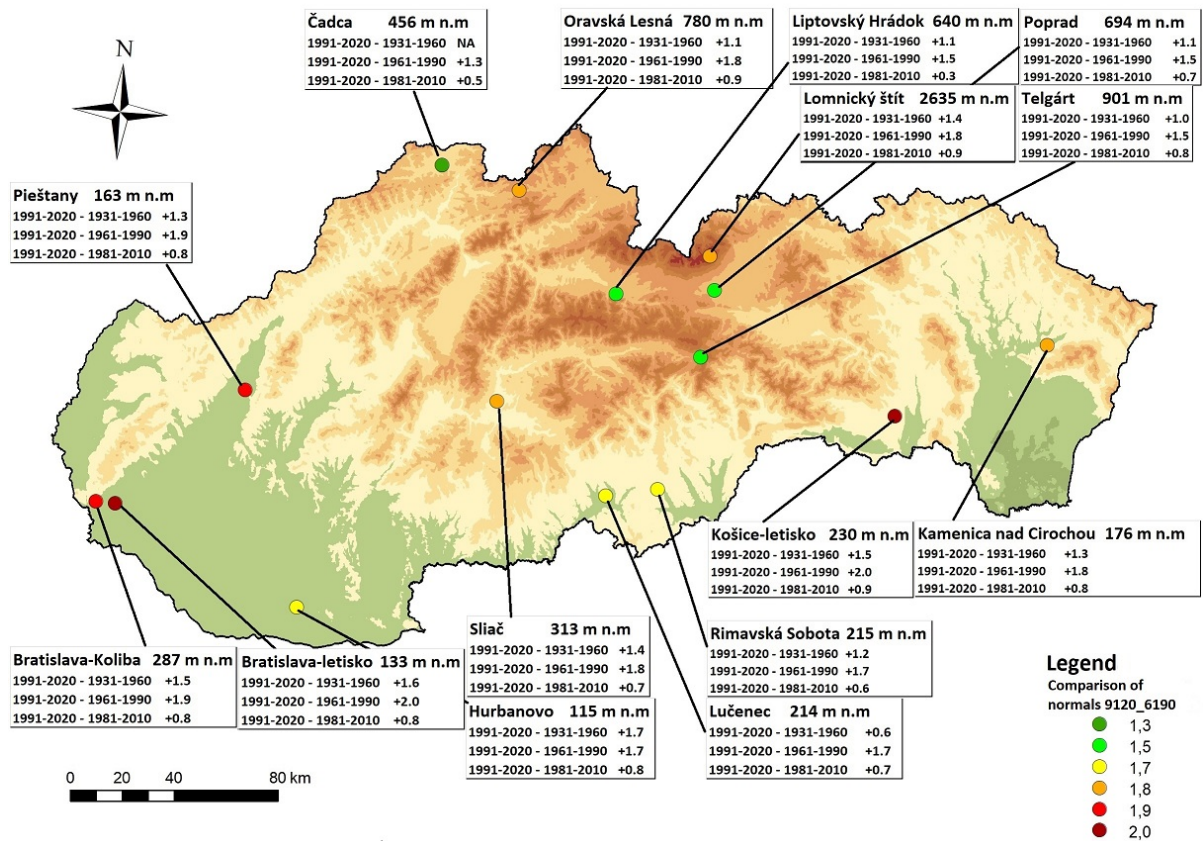
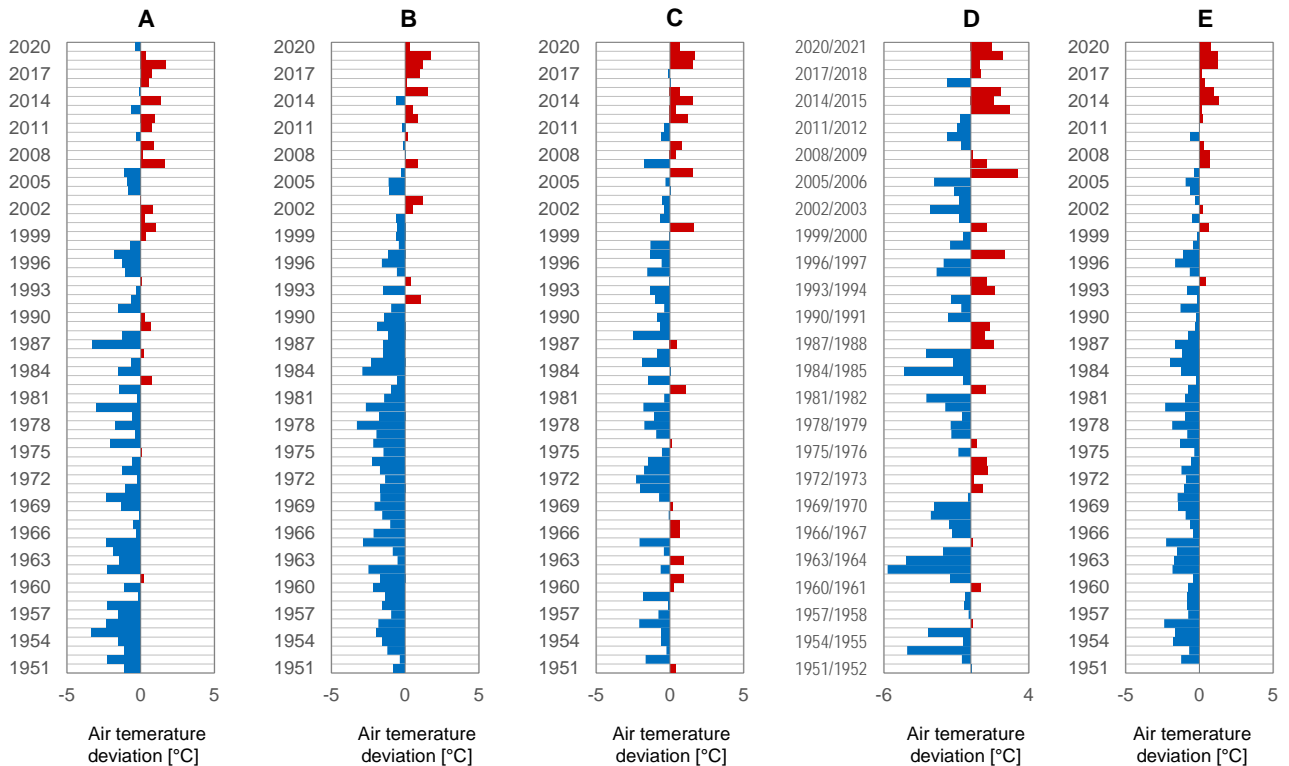
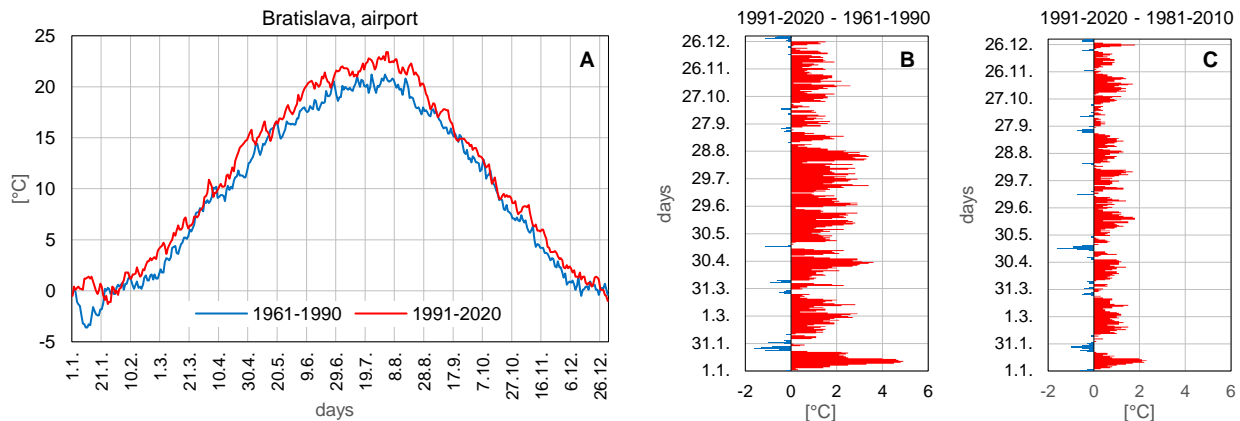


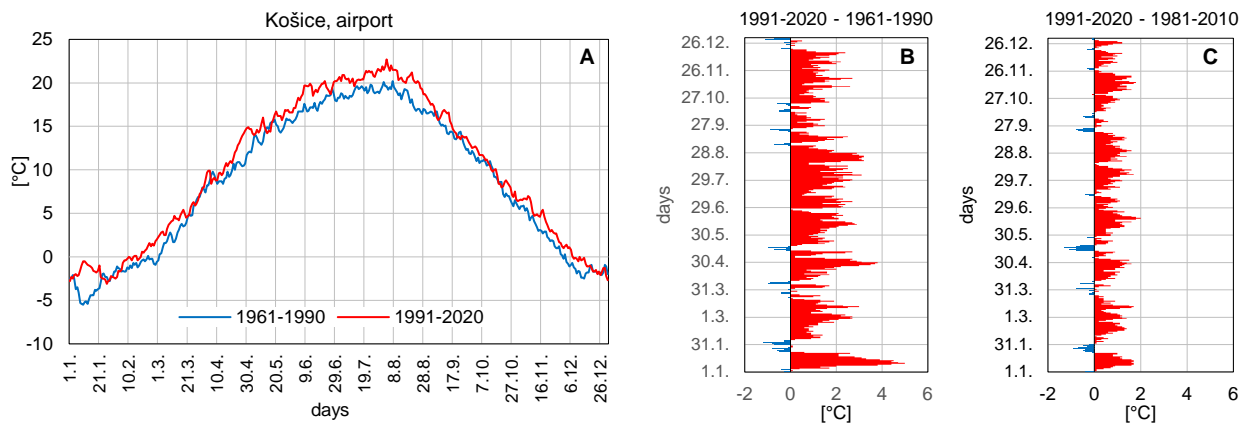
Figure 4. Deviation of the average seasonal (Spring - A, Summer - B, Autumn - C, Winter - D) and annual (Year - E) spatial air temperature during the period 1951 – 2020 from the current mean seasonal and annual values for the normal period 1991 – 2020.



**Figure 5.** Comparison of the mean daily air temperature during the calendar year between period 1991–2020 and 1961–1990 at meteorological station Bratislava, airport (A) and deviation of the mean daily air temperature in comparison between the current normal period 1991–2020 (9120) and previous normal values 1961–1990 (B) and 1981–2010 (C) at meteorological station Bratislava, airport.



**Figure 6.** Comparison of the mean daily air temperature during the calendar year between period 1991–2020 and 1961–1990 at meteorological station Košice, airport (A) and deviation of the mean daily air temperature in comparison between the current normal period 1991–2020 and previous normal values 1961–1990 (B) and 1981–2010 (C) at meteorological station Košice, airport.



## THE ACCELERATING PROCESS OF WARMING IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY

The lowest rate of warming was recorded in a comparison of the last two 30-year periods 1991–2020 and 1981–2010 (Fig. 5, 6). Although these two thirty-year periods share the 20-year period 1991–2010, the difference between the mean annual temperatures calculated for these periods was still 0.5 °C (Tab. 3). Notable is the fact, that the highest rate of warming was detected in November (Tab. 2). November used to be usually considered a representative of the more conservative autumn months with not too significant warming. The change in the average November air temperature reached an increase of +1.0 °C in the comparison of the last two periods 9120\_8110. Warming rate 1.0 °C was also recorded in June and August. These results correspond very well with an extraordinary decrease in snow cover depth and number of days with snow cover in the last autumn month, and with the reduced occurrence of large-scale precipitations events with more permanent and spatially homogeneous rainfall in the summer months. These changes in the annual precipitation regime detected in Slovakia have

been very noticeable since the beginning of the second decade of the 21st century (Markovič et al., 2020).

## AVERAGE SEASONAL AND ANNUAL PRECIPITATION TOTALS

The seasonal changes between long-term average precipitation totals for the periods 1991–2020 and 1961–1990 have some seasonal and regional peculiarities (Tab. 4, 5). If we look at these changes from the regional analysis’s perspective, then the most significant change is the increase in autumn precipitation totals detected predominantly in the western half of Slovakia. The exception to this rule is autumn precipitation at Košice (–2.6 mm between 1991–2020 and 1961–1990 periods) at Sliač (+2.0 mm between 1991–2020 and 1961–1990 periods) and at Lučenec (+0.2 mm between the periods 1991–2020 and 1961–1990) (Fig. 7). The nature of the change in summer precipitation was similar, but regionally not so homogeneous. An overall increase in average precipitation totals (with exceptions) was recorded in this season when comparing the periods

1991 – 2020 and 1961 – 1990. A decrease in daily totals was recorded in some areas of north-western and eastern Slovakia. The most recent increase in summer precipitation totals was recorded in most of Slovakia. This may be due to the increasing occurrence and intensity of convective storms and showers, as the share of this type of precipitation in the total amount of precipitation is growing during this season

(Chernokulsky et al., 2019; Ye et al., 2017). The increase in spring precipitation found from the 9120\_6190 comparison is less significant than the increase observed in summer. The most pronounced decrease in the average seasonal totals (9120\_6190 comparison) was detected in winter (Fig. 8). Decreases were recorded mainly in the western regions of Slovakia, but also at Košice, airport.

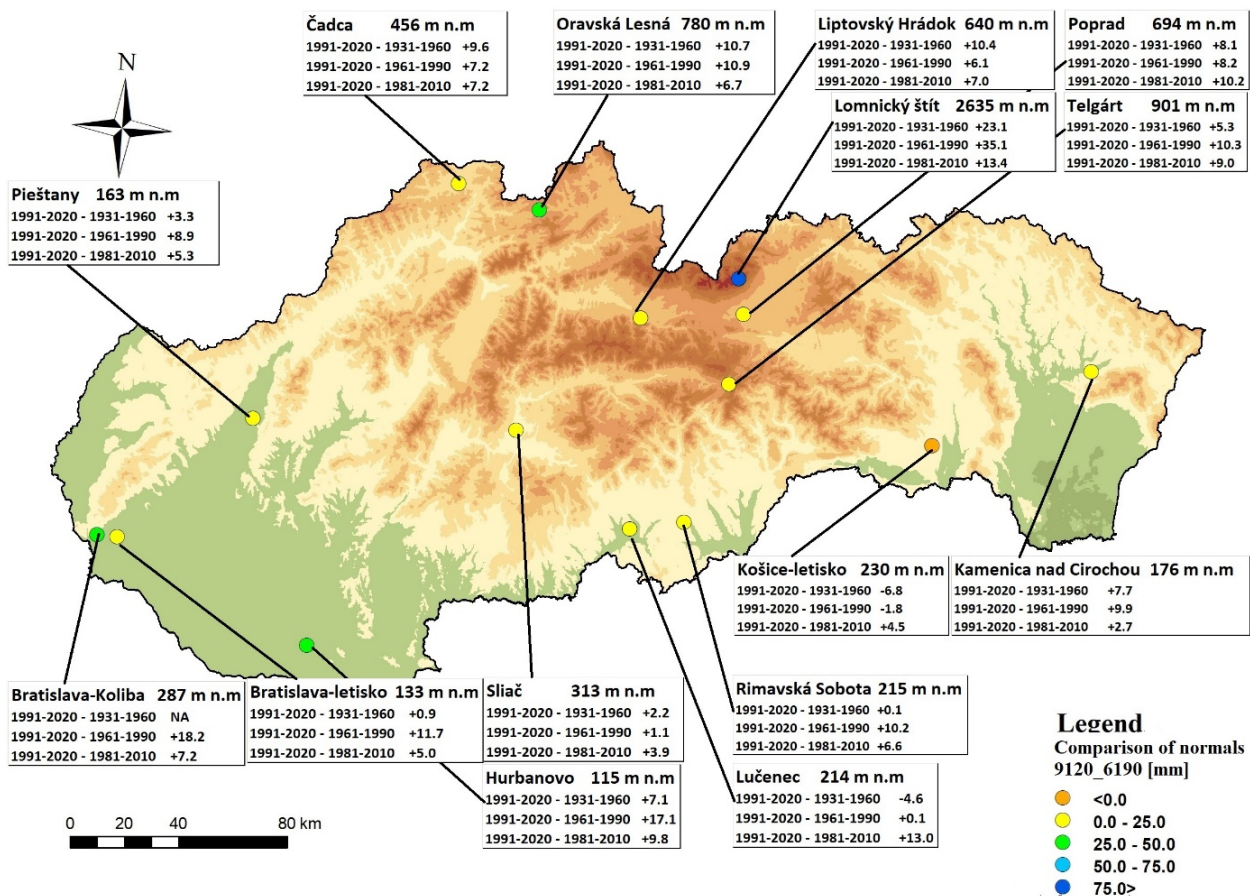
**Table 4. Change in the mean monthly precipitation [mm] between the current climatological normal 1991 – 2020 (9120) and the previous climatological normals 1931 – 1960 (3160), 1951 – 1980 (5180), 1961 – 1990 (6190) and 1981 – 2010 (8110) at selected meteorological stations in Slovakia. (\*Precipitation data from Lomnický štít station are not homogeneous.)**

| WMO Index | 9120_3160 |     |     |     | 9120_5180 |     |     |     | 9120_6190 |     |     |     | 9120_8110 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | JAN       | FEB | MAR | APR | MAY       | JUN | JUL | AUG | SEP       | OCT | NOV | DEC | JAN       | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC |
| 11813     | -         | 3   | 2   | 4   | -         | 3   | -2  | 0   | -         | 5   | 7   | 0   | -         | -12 | -4  | 1   | -   | 6   | 5   | 2   | -   | -10 | 0   | 3   |
| 11816     | -13       | -1  | -6  | -2  | -10       | -4  | -10 | -4  | -5        | -1  | -1  | -1  | -5        | -3  | 1   | 1   | 20  | 6   | 3   | 4   | -4  | -16 | -7  | 2   |
| 11826     | -14       | 0   | -1  | 2   | -5        | -3  | -4  | 0   | -2        | 1   | 4   | 3   | 1         | -5  | -2  | 0   | 21  | 4   | -8  | -3  | 17  | -9  | -2  | 1   |
| 11858     | -12       | 1   | 0   | 2   | -6        | -4  | -4  | 0   | -3        | 7   | 9   | 4   | -4        | -9  | -7  | -4  | 26  | 10  | 6   | 1   | -3  | -8  | 0   | -1  |
| 11866     | 7         | 3   | -3  | -2  | 3         | 0   | 1   | 2   | 7         | 10  | 10  | -1  | 6         | -6  | -3  | 0   | 40  | 7   | 3   | 4   | 18  | -20 | -19 | -6  |
| 11868     | 27        | 24  | 19  | 4   | 15        | 20  | 22  | 9   | 19        | 23  | 28  | 0   | -10       | -5  | -4  | -2  | 38  | 13  | 3   | 2   | 24  | -8  | -5  | -3  |
| 11874     | -1        | 5   | 2   | 2   | 6         | 8   | 7   | 5   | 12        | 12  | 11  | 0   | 8         | 2   | 2   | 0   | 28  | 7   | -4  | -7  | 10  | -16 | -10 | -1  |
| 11903     | -9        | 2   | 1   | 4   | -3        | -5  | -3  | 4   | -2        | 1   | 2   | 0   | -1        | -5  | -4  | -3  | 32  | 15  | 7   | -5  | 4   | -13 | -5  | 3   |
| 11927     | -13       | -6  | 0   | 8   | -5        | -6  | 1   | 12  | -6        | -6  | -2  | 3   | 2         | -8  | -6  | -2  | 27  | 5   | -2  | -7  | 5   | -8  | -9  | 0   |
| *11930    | -9        | 66  | 83  | 41  | 31        | 62  | 79  | 36  | 47        | 78  | 89  | 9   | 62        | 56  | 67  | 18  | 21  | 42  | 49  | 16  | 20  | -3  | 18  | 9   |
| 11934     | -8        | 1   | 2   | 2   | -2        | 0   | 3   | 3   | 5         | 2   | 3   | -4  | 10        | 1   | 0   | -1  | 42  | 10  | 2   | 0   | 14  | -10 | -6  | -1  |
| 11938     | -17       | 3   | 5   | 2   | 2         | 1   | 2   | 4   | 5         | 8   | 7   | -1  | 15        | 3   | 1   | -3  | 48  | 4   | -7  | -6  | 16  | -14 | -5  | 0   |
| 11942     | 0         | -1  | 3   | 2   | 2         | 2   | 5   | 4   | 6         | 3   | 1   | -3  | 9         | -5  | -6  | -5  | 40  | 17  | 8   | -5  | 5   | -9  | -6  | -6  |
| 11968     | -11       | -3  | -2  | 1   | -3        | -2  | 0   | 2   | -7        | -3  | -8  | -4  | 15        | 2   | 0   | -5  | 29  | 2   | -2  | 2   | 17  | 2   | 4   | -3  |
| 11993     | -22       | -1  | 0   | 1   | 3         | 1   | 5   | 3   | -1        | -3  | -7  | -3  | 16        | 2   | -5  | -4  | 36  | 12  | 8   | 0   | 22  | -14 | -17 | -5  |
| 11813     | -         | -3  | 10  | 4   | -         | 1   | 1   | 0   | -         | 33  | 27  | 4   | -         | 6   | 12  | 11  | -   | -2  | -5  | -2  | -   | 2   | 2   | -2  |
| 11816     | 6         | -5  | 8   | 9   | -12       | 0   | -1  | 1   | 2         | 23  | 19  | 5   | 9         | 2   | 7   | 6   | -6  | -7  | -8  | -3  | -17 | -6  | -7  | -3  |
| 11826     | -3        | -6  | 11  | 6   | -24       | -10 | -7  | 0   | -8        | 22  | 15  | 5   | 10        | 6   | 9   | 6   | -12 | -10 | -11 | -3  | -15 | -8  | -8  | -6  |
| 11858     | 3         | 8   | 18  | 11  | -6        | 3   | -3  | -4  | 7         | 16  | 18  | 9   | 12        | 9   | 14  | 8   | -4  | -6  | -6  | -1  | -12 | -1  | 1   | -3  |
| 11866     | 11        | -10 | 2   | 4   | -41       | -18 | -25 | -8  | -19       | 14  | 12  | 6   | 1         | 7   | 11  | 12  | -3  | -3  | -7  | -3  | -2  | -8  | -15 | -9  |
| 11868     | 21        | 0   | 13  | 11  | -34       | -2  | -8  | -7  | -31       | 8   | 9   | 5   | 3         | 15  | 16  | 15  | 5   | 10  | 5   | -1  | 8   | 1   | -9  | -7  |
| 11874     | 15        | 17  | 30  | 16  | -19       | 6   | 4   | 0   | -14       | 7   | 4   | 3   | 5         | 8   | 9   | 9   | -1  | 3   | -3  | 0   | -8  | -2  | -6  | -7  |
| 11903     | 5         | 11  | 24  | 18  | -19       | -10 | -7  | 0   | -10       | 4   | -2  | -3  | 15        | 13  | 14  | 10  | 2   | -7  | -10 | 0   | -17 | -7  | -6  | -5  |
| 11927     | 12        | 11  | 27  | 9   | 1         | 0   | 10  | 5   | -16       | 0   | 3   | 2   | 10        | 4   | 5   | 11  | 3   | -12 | -9  | 7   | -24 | -13 | -5  | 5   |
| *11930    | 4         | 39  | 62  | 27  | -49       | 12  | 11  | -3  | -9        | 32  | 34  | 9   | 27        | 41  | 50  | 28  | 63  | 47  | 56  | 16  | 49  | 40  | 62  | 25  |
| 11934     | 11        | 20  | 33  | 13  | -11       | 6   | 11  | 8   | -23       | 13  | 7   | 3   | -1        | 10  | 13  | 11  | -2  | -6  | -8  | 1   | -14 | -3  | -2  | -2  |
| 11938     | -9        | 10  | 28  | 21  | -13       | 9   | 14  | 7   | -23       | 17  | 13  | 1   | 6         | 7   | 8   | 13  | 4   | 2   | 1   | 6   | -28 | -1  | 2   | -2  |
| 11942     | -6        | 5   | 18  | 11  | -18       | -8  | 1   | 2   | -19       | 5   | 8   | 2   | 4         | 9   | 10  | 8   | 9   | -3  | -2  | 1   | -23 | -4  | 2   | 0   |
| 11968     | 8         | 3   | 10  | 9   | -16       | -10 | -7  | -6  | -30       | 0   | -3  | -4  | 1         | 9   | 9   | 8   | -6  | -10 | -8  | 2   | -19 | -1  | 1   | -6  |
| 11993     | 17        | 16  | 15  | 0   | -15       | -5  | -1  | -1  | -23       | 15  | 10  | -6  | 9         | 10  | 13  | 11  | -12 | -7  | -5  | 0   | -11 | -9  | -6  | -3  |

**Table 5. Change in the mean seasonal and annual precipitation [mm] between the current climatological normal 1991 – 2020 (9120) and the previous climatological normals 1931 – 1960 (3160), 1951 – 1980 (5180), 1961 – 1990 (6190) and 1981 – 2010 at selected meteorological stations in Slovakia. (\*Precipitation data from Lomnický štít station are not homogeneous.)**

| WMO Index | 9120_3160 |        |        |        | 9120_5180 |        |        |        | 9120_6190 |      |        |        | 9120_8110 |        |      |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|-----------|------|--------|--------|-----------|--------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | SPRING    | SUMMER | AUTUMN | WINTER | YEAR      | SPRING | SUMMER | AUTUMN | WINTER    | YEAR | SPRING | SUMMER | AUTUMN    | WINTER | YEAR |     |     |     |     |     |
| 11813     | -         | 0      | 7      | 4      | -         | -12    | 12     | 7      | -         | 37   | 34     | 13     | -         | 8      | 3    | 2   | -   | 33  | 56  | 26  |
| 11816     | -12       | 1      | 3      | 3      | -4        | -21    | 0      | 12     | 1         | 17   | 17     | 7      | -22       | -11    | -23  | -9  | -37 | -14 | -3  | 13  |
| 11826     | 1         | 0      | -6     | 0      | -24       | -25    | 3      | 7      | 5         | 18   | 13     | 8      | -16       | -11    | -11  | -2  | -35 | -19 | -1  | 10  |
| 11858     | -6        | 8      | 9      | 1      | 8         | 3      | 15     | 6      | 11        | 18   | 26     | 15     | -16       | -4     | -2   | 1   | -4  | 24  | 47  | 20  |
| 11866     | 23        | 10     | 9      | 3      | -31       | -47    | -42    | -11    | 20        | 19   | 15     | 15     | 15        | -4     | -18  | -6  | 28  | -22 | -33 | -1  |
| 11868     | 24        | 30     | 27     | -1     | -27       | -11    | -1     | 0      | 30        | 33   | 30     | 19     | 55        | 44     | 29   | 6   | 83  | 97  | 89  | 24  |
| 11874     | 9         | 21     | 9      | -7     | -1        | 7      | 24     | 15     | 18        | 18   | 11     | 12     | 15        | 11     | 3    | 2   | 42  | 58  | 47  | 21  |
| 11903     | -1        | 12     | 5      | -7     | 2         | -11    | 12     | 22     | 4         | 10   | 2      | 7      | -7        | -11    | -7   | 4   | -2  | 0   | 12  | 24  |
| 11927     | -9        | -8     | -10    | -5     | 27        | 3      | 28     | 14     | -7        | -9   | 0      | 19     | -15       | -25    | -5   | 25  | -5  | -40 | 14  | 52  |
| *11930    | 128       | 175    | 205    | 43     | -18       | 47     | 92     | 32     | 93        | 120  | 141    | 54     | 54        | 168    | 224  | 103 | 257 | 511 | 663 | 231 |
| 11934     | 12        | 13     | 4      | -5     | 6         | 17     | 38     | 21     | 12        | 17   | 12     | 15     | -8        | -2     | 2    | 3   | 22  | 45  | 57  | 34  |
| 11938     | 13        | 16     | 1      | -9     | -4        | 4      | 36     | 27     | 11        | 25   | 22     | 19     | -15       | 3      | 8    | 5   | 6   | 49  | 69  | 42  |
| 11942     | 14        | 16     | 3      | -14    | -18       | -12    | 13     | 7      | 0         | 11   | 16     | 10     | 11        | -3     | 10   | 6   | 7   | 12  | 42  | 9   |
| 11968     | -3        | 1      | -10    | -7     | -1        | -6     | 6      | -1     | -10       | -1   | -3     | 6      | -9        | -6     | -1   | -3  | -23 | -12 | -7  | -5  |
| 11993     | 27        | 11     | -3     | -7     | -10       | -3     | -3     | -6     | 14        | 18   | 18     | 5      | -12       | -9     | -2   | 2   | 19  | 17  | 11  | -7  |

Figure 7. Relative change in the mean autumn precipitation [%] between the current climatological normal 1991–2020 and previous climatological normals 1931–1960, 1961–1990 and 1981–2010 at selected meteorological stations in Slovakia.



## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

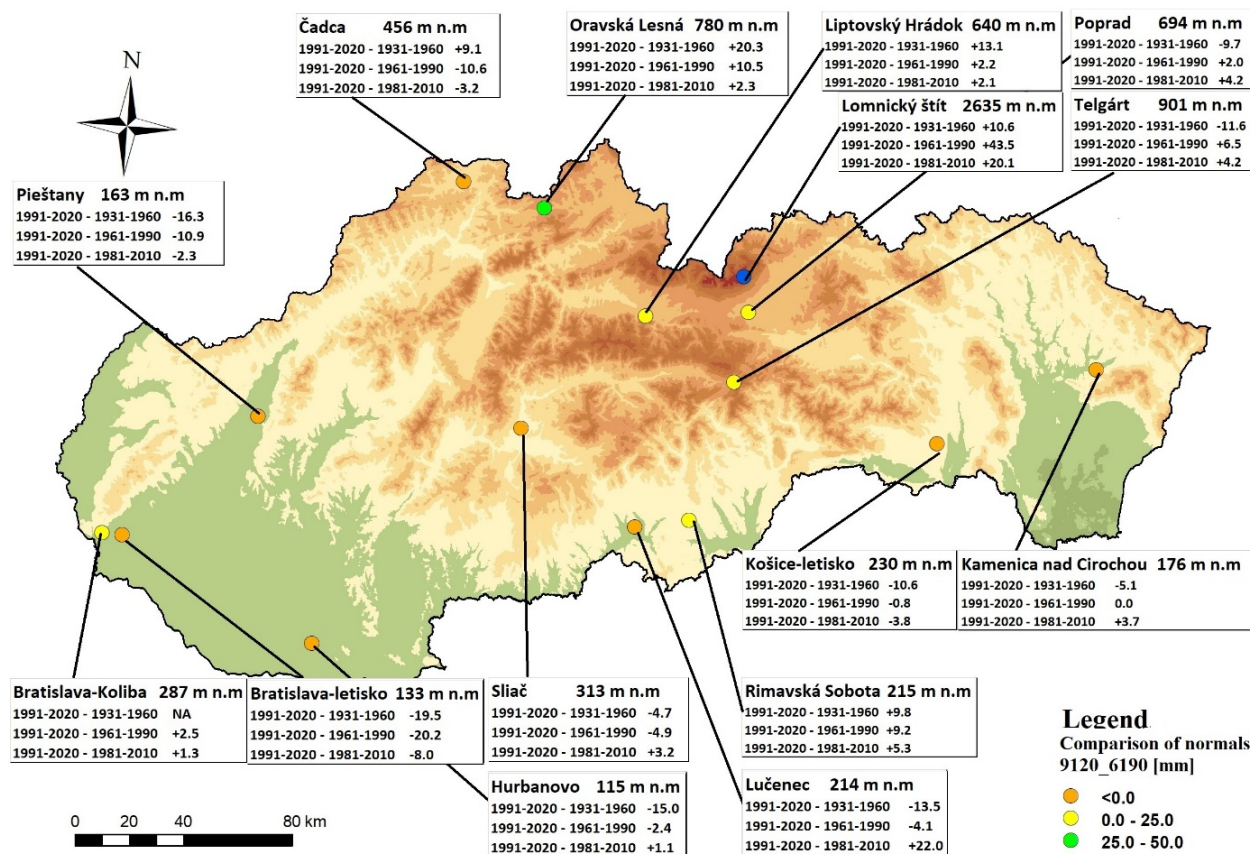
Europe and adjacent areas of Atlantic Ocean registered weakened and often absent west-east transmission of moist air masses during the 21<sup>st</sup> century (Moon et al., 2022; Sfičá et al., 2021). This change in the traditionally prevailing atmospheric circulation might have directly affected the results of this analysis. Perhaps the most significant is the decrease in more homogeneous and longer-lasting large-scale stratiform precipitation. This type of precipitation, which originates in the North Atlantic Ocean, is the main source of precipitation in the traditional climate conditions of inland Europe. The area of decreasing winter precipitation totals is therefore located in the more oceanic climate of the western and northwestern regions of Slovakia. Winter precipitation totals are highly dependent on the westerly oceanic flow in this area (Květák, 1983; Siman and Polčák, 2017).

The complexity of the precipitation measurement process at meteorological stations located in mountainous areas, especially at mountain peaks, can often lead to incorrect measurements and thus amount to “questionable” precipitation totals. At the same time, data from these mountain stations are invaluable for the comprehensive climatological analysis and are therefore often used despite their known shortcomings. Measurements at high altitudes tend to be significantly affected by the frequently occurring high wind speeds, which is the case especially for the solid

precipitation in the form of snow. This also applies to the measurements at the Lomnický štít station, which is located on the mountain peak at an altitude of 2635 meters above the mean sea level. Precipitation totals measured at this meteorological station are significantly influenced by high wind speeds and the complicated methodology of their measurement. To carry out usable measurements with homogeneous data sets, it is always essential to precisely follow set methodology of measurements. Methodology of measurement must have changed at Lomnický štít station and therefore the precipitation data from this station are not homogeneous. This inhomogeneity made it impossible to correctly ascertain the exact rate of detected change, but the results obtained from this station were too important to be omitted from the analysis entirely and are marked with an asterisk.

The objective of this work was to compare the long-term average monthly, season and annual air temperature and precipitation, then find and analyze the detected changes. Results of the analysis point to a general rise in the air temperature values. Warming is most noticeable in summer, especially in August, where the change between the compared normal periods reached +2,0 °C. In the case of atmospheric precipitation, we recorded a relatively significant increase in autumn precipitation. These changes represent unprecedented deviations from previously established climatic conditions.

Figure 8. Relative change in the mean winter precipitation [%] between the current climatological normal 1991–2020 and previous climatological normals 1931–1960, 1961–1990 and 1981–2010 at selected meteorological stations in Slovakia.



Rapidly changing climate and non-stationary climatic conditions require regular recalculation of new normal values. The importance of air temperature normals decreases significantly in non-stationary conditions. These values may not correctly describe average climate conditions, as they are only an average value for a 30-year long time series with an increasing trend. Comparison between these normal values is therefore important and necessary because it can correctly indicate a rapidly changing climate.

## REFERENCES

IPCC, 2014, *Climate change 2013. The physical science basis: Cambridge Univer. Press, 1552 p., ISBN: 9781107661820, url: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.*

IPCC, 2022, *Climate Change 2022, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D., C., Roberts, M., Tignor, E.S., Poloczanska, K., Mintenbeck, A., Alegría, M., Craig, S., Langsdorf, S., Lösschke, V., Möller, A., Okem, B., Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.*

Chernokulsky, A.–Kozlov, F.–Zolina, O.–Bulygina, O.–Mokhov, I.–Semenov, V., 2019, *Observed changes in convective and stratiform precipitation in North ern Eurasia*

*over the last five decades. Environmental Research Letters. 14. 045001. 10.1088/1748-9326/aafb82.*

Kolektív autorov HMÚ, 1961, *Podnebí Československé socialistické republiky – tabulky. Praha: Polygrafia, 379 s.*

Kolektív autorov HMÚ, 1966, *Priemerné úhrny zrážok 1931–1960, Slovensko. Hydrometeorologický ústav v Bratislave, Bratislava, 17 s.*

Kolektív autorov HMÚ, 1969, *Podnebí Československé socialistické republiky – souborná studie. Praha: Severografia, 355 s.*

Květák, Š., 1983, *Príspevok ku kontinentalite podnebia na Slovensku. In: Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu. ALFA, Bratislava, 95–135.*

Markovič, L.–Pecho, J.–Faško, P., 2020, *Zmeny v skupenskom zastúpení atmosférických zrážok v zime na území Slovenska. Meteorologické zprávy. ČHMÚ, 73-2020/1. ISSN: 0026-1173.*

Mikulová, K.–Faško, P.–Šťastný, P., 2015, *Národný klimatický program slovenskej republiky, Zväzok 13, Klimatologické normál za obdobie 1961–1990 na Slovensku, Časť II – Klimatické normály atmosférických zrážok na Slovensku za obdobie 1961–1990, Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, ISBN 978-80-88907-93-0, 640s.*

Moon, W.–Kim, B.-M.–Yang, G.-H.–Wettlaufer, J., 2022, *Wavier jet streams driven by zonally asymmetric surface thermal forcing. Proceedings of the National Academy of Sciences. 119. 10.1073/pnas.2200890119.*

- Siman, C.–Polčák, N., 2017, *Vplyv kontinentality podnebia na vybrané charakteristiky snehovej pokrývky na Slovensku v období rokov 1981/82–2010/11. Meteorologický časopis*, Vol. 20/1, 11–18. ISSN 1335-339X. Dostupné: [http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET\\_CASOPIS/2017-1\\_MC.pdf](http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/2017-1_MC.pdf).
- Sfícă, L.–Beck, C.–Nita, A.–Voiculescu, M.–Birsan, M.–V.–Philipp, A., 2021, *Cloud cover changes driven by atmospheric circulation in Europe during the last decades. Int J Climatol*. 41 (Suppl. 1): E2211– E2230. <https://doi.org/10.1002/joc.6841>
- World Meteorological Organization, 2011, *Guide to Climatological Practices. In: Uses of Climatological Information and Research WMO-No. 100. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland*
- World Meteorological Organization, 2017, *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals, WMO-No 1203 (2017). In Purpose. Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland.*
- Ye, H.–Fetzer, E.J.–Wong, S.–Lambrigtsen, B.H., 2017, *Rapid decadal convective precipitation increase over Eurasia during the last three decades of the 20<sup>th</sup> century. Sci Adv. Jan 25;3(1):e1600944. doi: 10.1126/sciadv.1600944. PMID: 28138545; PMCID: PMC5266478.*

# INTERPOLAČNO-REGRESNÝ MODEL RIO - VYBRANÉ VÝSLEDKY MODELOVANIA PRE ROK 2021

JURAJ BEŇO, JANA MATEJOVIČOVÁ, DUŠAN ŠTEFÁNIK, JANA KRAJČOVIČOVÁ

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

*Due to low computational costs and speed of production, air quality assessment using statistical models is a very efficient tool for historical data analysis as well as real-time modelling. RIO can be classified as an interpolation-regression model using detrended kriging. RIO model was applied to the whole territory of Slovakia for the year 2021 and models for selected pollutants ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ) were created based on measured data from the national monitoring network. Model resolution of 1 km x 1 km provides sufficient accuracy even for locations with more complex terrain. The paper deals with a technical description of RIO model methodology. It also contains a brief discussion of model inputs and a deeper analysis of the results using an integrated validation routine.*

*In general, RIO modelling process has three phases. In the first phase, the local character of the measured values of air pollution is removed by detrending based on the characteristics of the selected driver. The resulting site-independent data are interpolated using ordinary kriging scheme. In the third phase, re-trending is applied in each interpolated cell, in which the local contribution is added to the results of kriging interpolation.*

*Resulting spatial maps incorporate local nature of air pollution even in places where monitoring stations are not available. Good quality of the model results is demonstrated using validation against station data, where mean R coefficient reached 0.88 for both PM and 0.68 for  $NO_2$ .*

*Štatistické modely sú vzhľadom na svoju rýchlosť a nízke výpočtové náklady efektívnym nástrojom na hodnotenie kvality ovzdušia, analýzu časových radov historických dát, ako aj na modelovanie v reálnom čase. RIO sa dá klasifikovať ako interpolačno-regresný model využívajúci detrendovaný kriging. Tento model bol využitý na analýzu dát pre celé územie Slovenska pre rok 2021, pričom boli vytvorené modely pre vybrané znečisťujúce látky ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ) na základe meraných dát z Národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia. Použitie rozlíšenie 1km x 1km poskytuje dostatočnú presnosť aj pre miestami zložitú členitosť terénu, aká sa vyskytuje na území Slovenska. Predmetom tohto článku je technický popis procesu spracovania dát modelom RIO, ako aj krátka diskusia vstupov a hlbší rozbor výstupov z modelu s využitím integrovanej rutiny pre validáciu výstupov. Proces modelovania RIO všeobecne prebieha v troch fázach. V prvej fáze sa miestny charakter meraných hodnôt znečistenia ovzdušia odstraňuje detrendovaním na základe charakteristík vybraného drivera. Následne sú údaje nezávislé od miesta interpolované schémou obyčajného krigingu (ordinary kriging). V tretej fáze je uplatnené retrendovanie, pri ktorom sa lokálny príspevok pripočíta k interpolovaným hodnotám. Výsledkom modelovania je priestorová mapa zohľadňujúca miestny charakter znečistenia ovzdušia, a to aj tam, kde nie sú k dispozícii monitorovacie stanice. Prostredníctvom krížovej validácie bola preukázaná dobrá kvalita výstupných údajov z modelu s priemerným R koeficientom 0,88 pre obe PM a 0,68 pre  $NO_2$ .*

**Key words:** RIO, air quality model, interpolation model, concentrations of pollutants in Slovakia,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $PM_{2.5}$ , kriging

## 1. ÚVOD

Na hodnotenie kvality ovzdušia sa využívajú rôzne modely podľa požadovanej škály a presnosti, v rámci ktorej je potrebné modelovať. Jedným z modelov využívaných v SHMÚ je interpolačno-regresný model RIO [2]. Tento model nachádza svoje využitie pre vytváranie máp v reálnom čase, ale aj na historické modelovanie vybraných období. RIO patrí medzi štatistické modely, ktoré sa vyznačujú relatívne nízkou hardvérovou náročnosťou a rýchlosťou akou dokážu produkovať výsledky. Nevýhodou týchto modelov je vysoká závislosť na počte meracích bodov a ich reprezentatívnosti. Veľmi dôležitú úlohu zohráva aj výber drivera (viď nižšie) pre regresnú časť modelu. Z hľadiska spomenutých požiadaviek boli v práci na demonštráciu funkcionality a výsledkov vybrané tri znečisťujúce látky:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  a  $NO_2$ . Model RIO taktiež obsahuje zabudovaný modul pre validáciu produktov.

Polia koncentrácií uvedených znečisťujúcich látok sú charakterizované lokálnymi "ohniskami" v blízkosti sídiel, ciest, priemyselných, prípadne iných zdrojov znečistenia, pričom výskyt týchto ohnisk môže byť zvýraznený ďalšími lokálnymi charakteristikami, ako je napr. tvar terénu, a pod. Koncentrácie mimo týchto ohnisk sú obvyčajne nižšie.

Proces modelovania má niekoľko fáz. Prvá fáza je založená na odstraňovaní lokálneho charakteru vstupných dát prostredníctvom detrendovania. To je zabezpečené transformáciou meraných hodnôt koncentrácií znečisťujúcich látok na veličiny nezávislé od lokality, čím vzniká priestorovo homogénnejšie pole koncentrácií, ktoré je potrebné pre správne použitie interpolačného algoritmu. Práve táto základná požiadavka priestorovej homogenity vstupných údajov sa často ignoruje v interpolačných analýzach zaoberajúcich sa kvalitou ovzdušia. Po detrendovaní nasleduje krok interpolácie meraných dát metódou kriging. Posledným

krokom je retrendovanie - transformácia interpolovaných dát s cieľom opätovne začleniť lokálny charakter do konečnej mapy aj na miestach, kde nie sú dostupné žiadne údaje z monitorovania. Na riešenie problematiky interpolácie znečistenia ovzdušia vyznačujúceho sa silnou lokálnou zložkou bola vyvinutá metodika, ktorá spája špecifické štatistické vlastnosti znečistenia ovzdušia s ďalšími geografickými charakteristikami, napríklad: využitie krajiny, meteorológia, výsledky iných modelov, rozloženie emisných zdrojov a pod. Výsledkom metódy sú matematické vzťahy, ktoré vytvárajú tieto lokálne väzby a ktoré je možné použiť v interpolačnom modeli RIO.

## 2. POPIS A CHARAKTERISTIKA MODELU RIO

### 2.1 Výber driverov

Detrendovanie meraných koncentrácií znečisťujúcich látok je založené na správnom výbere driverov. Driver (pole s požadovaným rozlíšením v pravidelnej mriežke) predstavuje georeferencovaný dataset s určitou charakteristikou, ktorý má za úlohu jednotlivo alebo v kombinácii s viacerými inými drivermi zachytiť priestorovú variáciu meraných dát. Pri výbere driverov pre danú látku sa vychádza najmä z jej známych charakteristík a faktorov najviac ovplyvňujúcich merané koncentrácie. V rámci testovania je použité množstvo driverov z ktorých sa vytvárajú jednotlivé menšie kombinácie. V práci je popísaný len výsledný štatisticky a najkvalitnejší, ale vysoký dôraz sa kladie na vierohodnosť výslednej informácie o rozložení a výške koncentrácií znečisťujúcej látky.

Jedným z najbežnejšie využívaných driverov je Land-use (využitie krajiny) zobrazený na Obr. 1. Tento driver vychádza z CORINE Land Cover (ďalej len CLC) dát [1], [8] a vytvára sa na základe optimalizačného algoritmu. Algoritmus v okolí stanice vytvorí buffer (kruh) s vybranou veľkosťou (zvyčajne polovica vybraného rozlíšenia). Následným výberom zo 44 CLC kategórií sa vytvorí najvhodnejšia kombinovaná lokálna charakteristika využitia krajiny v okolí vybranej stanice. Výsledná kombinovaná charakteristika sa môže výrazne odlišovať od lokality stanice (mestská alebo regionálna). Výber veľkosti buffera môže výrazne ovplyvniť výsledok. Napríklad veľmi malý buffer nerozlišuje medzi malými a veľkými mestami a príliš veľký buffer môže lokálny charakter miesta potlačiť [2]. Táto kombinovaná charakteristika sa potom rovnakým spôsobom ako pre meracie stanice vypočíta v každom bode vybranej vstupnej mriežky.

Ako driver sa často používajú aj iné charakteristiky, ako hustota populácie, nadmorská výška, meteorologické parametre a veľmi dôležité sú aj drivery založené na matematickom a chemickom modelovaní znečistenia ovzdušia, ktoré v sebe nesú aj informácie o rozložení zdrojov znečistenia ovzdušia (CMAQ, ATMOSTREET) [6], [7].

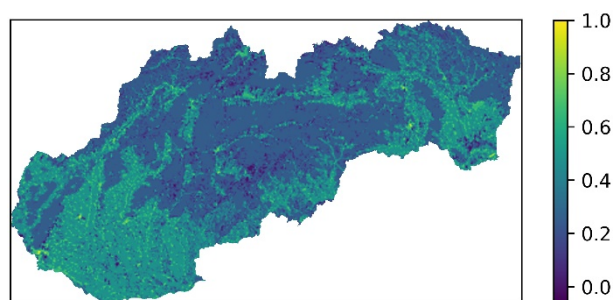
Drivery využité v modeloch:

- Výstup modelu ATMOSTREET pre rok 2019 [7] – polia koncentrácií znečisťujúcich látok PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>.
- Meteorologický model ALADIN [9], [10] – s rozlíšením 2 km – Ventilačný index.

- Spracovanie emisných vstupov z lokálnych kúrenísk – emisie PM<sub>10</sub> [11].
- CLC – optimalizovaný driver Corine Land Cover pre NO<sub>2</sub> a PM<sub>10</sub> – Copernicus [8].
- Intenzita dopravy osobných automobilov vytvorená na základe spracovania dopravného modelu SR Ministerstva dopravy od AF CITY PLAN 2016. Model bol rozšírený podľa typu cesty a lokality o vynechané menšie komunikácie s nižším vyťažením.
- Nadmorská výška – EU-DEM 1.1 s rozlíšením 25 m [12].

**Obrázok 1. Driver Land use (využitie krajiny) zachytávajúci územie SR, vytvorený na základe CLC dát ako kombinácia z 44 dostupných kategórií pre NO<sub>2</sub>.**

Figure 1. Driver Land use created as a combination of 44 Corine Land Cover categories.



### 2.2 Optimalizácia a beta parameter

Cieľom optimalizácie je kombinovanie užívateľom navrhnutých driverov do jedného výsledného drivera, ktorý svojou charakteristikou najlepšie zachytáva lokálne charakteristiky jednotlivých staníc. Výsledný driver ( $\beta$ -parameter) je individuálny pre každú znečisťujúcu látku. Optimalizácia prebieha nasledovne:

1. Vytvorenie súbor rôznych  $\beta$ -parametrov kombináciou vybraných driverov ako

$$\beta_{\alpha} = \sum_i^N \alpha_i * D_i, \quad (1)$$

kde  $D_i$  - driver,  $\alpha_i$  - váhový koeficient pre daný driver,  $\alpha$  je súbor váhových koeficientov, pričom pre váhové koeficienty musí platiť

$$\sum_i^N \alpha_i - 1 = 0. \quad (2)$$

2. Hodnoty  $\beta$ -parametra a koncentrácií v miestach meracích staníc sú fitované pomocou polynómu  $P$ , čím sa nájde teoretická závislosť koncentrácií od  $\beta$ -parametra v celom rozsahu jeho hodnôt (Obr. 2)

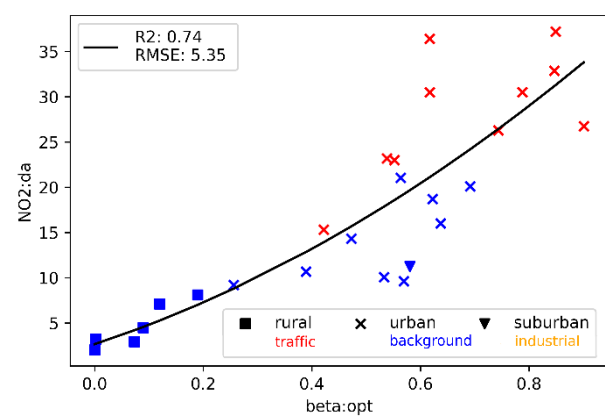
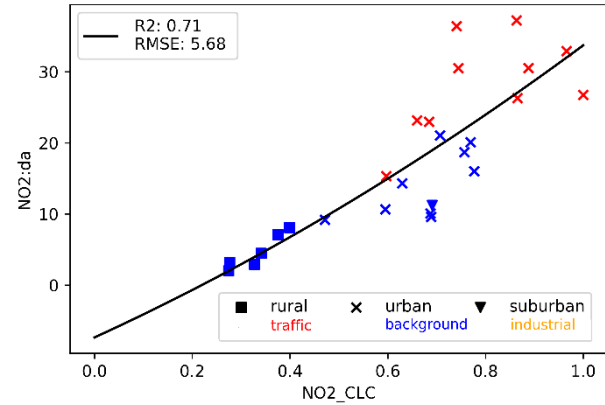
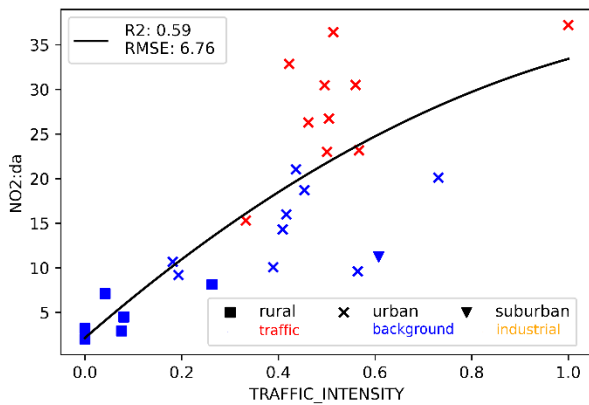
$$P_{\alpha} = \theta_0 + \theta_1 \beta_{\alpha} + \theta_2 \beta_{\alpha}^2. \quad (3)$$

3. Pre danú hodnotu  $\alpha$  hľadáme rozdiel medzi fitovanými a meranými koncentraciami v miestach meracích staníc

$$\frac{1}{2m} \sum_j^m (P_{\alpha}^j - y^j)^2, \quad (4)$$

kde  $m$  je počet staníc,  $y$  – požadovaná agregovaná hodnota koncentrácií z historických pozorovaní,  $P$  – polynomiálny fit.

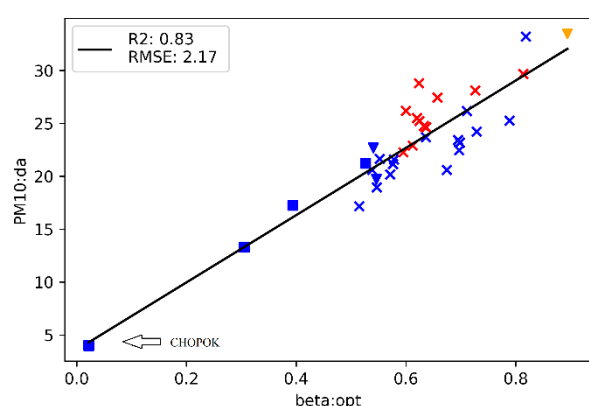




**Obrázok 2.**  
*Vľavo hore – trendová krivka pre driver vytvorený na báze intenzít dopravy na cestách, vpravo hore – trend vytvorený pre driver na báze CLC. Dole – optimalizovaný driver ako kombinácia dvoch predchádzajúcich s váhovými koeficientami.*

*Figure 2.*  
*Top left – trend line for driver based on road traffic intensity, top right trend based on CLC driver, bottom – optimized driver as a combination of top drivers.*

**Obrázok 3. Trendová krivka rozšírená o stanicu na Chopku.**  
*Figure 3. Trend line extended for CHOPOK station.*



(Národná monitorovacia sieť kvality ovzdušia), ktoré musia zahŕňať aspoň jeden rok dát z jednotlivých meracích staníc, pričom ak je dostupná dlhšia história využije sa aj tá. V niektorých prípadoch môže nastať situácia, že rozsah parametra pre stanice (napr. nadmorská výška staníc) dostatočne nepokrýva rozsah drivera pre celé územie SR. Vtedy je pre vyššiu kvalitu dosahovaných výstupov veľmi užitočné vniesť individuálne získané dáta z meraní pre vybraný bod. V našom prípade ide o gravimetrické meranie zo stanice CHOPOK z roku 2014. Využitie týchto dát určí tvar trendovej krivky aj mimo rozsahu bežne používaných staníc (Obr. 3).

Z dôvodu prehľadnosti sa v obrázkoch stanice označujú len EOI kódom. Podrobnejšie informácie sú uvedené v Tab. 1.

- Optimálny súbor váhových koeficientov  $\alpha$  je ten, ktorý minimalizuje hodnotu rovnice (4). Optimálna hodnota  $\alpha$  určuje na základe rovnice (1) optimálnu hodnotu  $\beta$ -parametra.

V zriedkavých prípadoch sa môže stať, že v optimalizačnom procese je vybraný iba jeden driver.

V rámci optimalizácie sa často využívajú aj intervalové obmedzenia alebo limity, ktorými je možné vplyv niektorého drivera obmedziť alebo zvýrazniť:

$$\alpha_i \in \langle a, b \rangle, 0 \leq a < b \leq 1 \quad (5)$$

### 2.3 Výber staníc a rozsahy dát

V regresnej časti RIO modelu sú využívané koncentrácie znečisťujúcich látok namerané na staniciach NMSKO

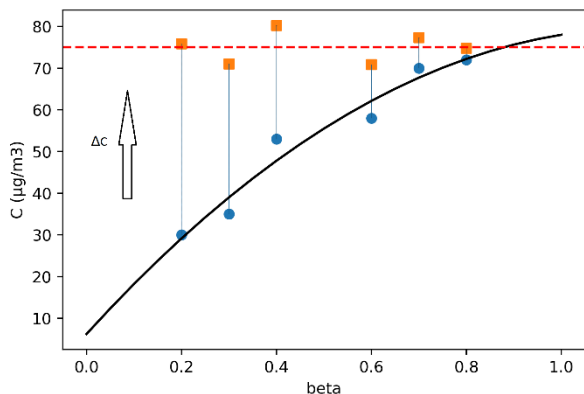
### 2.4 Detrendovanie

Cieľom detrendovania je odstránenie lokálnej charakteristiky pre každú stanicu a vytvorenie homogénnejšieho dátového vstupu, ktorý je požadovaný pre aplikovanie krigingu. Krok detrendovania je schematicky znázornený na Obr. 4.

Rezíduum resp. posun  $\Delta C(\beta)$  sa vypočíta ako rozdiel medzi ľubovoľnou referenčnou úrovňou (napr.  $\text{NO}_2 \Rightarrow 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a trendovou funkciou určenou na základe optimalizácie  $\beta$  parametra. Rezíduum  $\Delta C(\beta)$  sa následne pripočíta k meranej hodnote na konkrétnej stanici a tým stanoví hodnota detrendovania pre konkrétnu hodnotu parametra  $\beta$ . Tento postup pri dostatočnej kvalite vstupných driverov odstráni lokálny charakter monitorovacích údajov a všetky hodnoty sa prevedú na referenčnú úroveň nezávislú od lokality [2, 3].

**Obrázok 4. Schématické znázornenie procesu detrendovania (kruh - pôvodné meranie, štvorec - hodnota po detrendovaní).**

Figure 4. Schematic representation of the detrending process (circle - original measurement, square - value after detrending).



## 2.5 Interpolácia

Interpoláčna rutina RIO je založená na schéme obyčajného krigingu (ordinary kriging) [4]. Táto technika bola pôvodne vyvinutá v geoštatistike, ale ukázala sa ako úspešná aj v iných oblastiach [5]. Kriging je založený na využití obmedzenej vzorky dát na odhadnutie hodnôt premennej v spojitom priestorovom poli, pričom pri interpolácii využíva priestorovú koreláciu medzi vzorkovanými bodmi.

Technika kriging, ktorá je použitá v tejto práci, sa líši od štandardnej techniky v jednom dôležitom bode. V štandardnom obyčajnom krigingu sa variogram alebo priestorová korelácia určuje výlučne na základe vstupných hodnôt interpolačného problému. Pre aplikáciu interpolácie v oblasti kvality ovzdušia je však počet vstupných hodnôt pre konkrétnu situáciu (napr. súbor priemerných hodinových koncentrácií z meraní v reálnom čase) dost' obmedzený. Pre krajinu, akou je Slovensko, je zvyčajne k dispozícii niekoľko desiatok meracích miest (v závislosti od znečisťujúcej látky). Tento obmedzený počet vzorkovacích hodnôt môže znížiť štatistickú významnosť korelačnej funkcie alebo variogramu. Okrem toho môžu merané hodnoty znečistenia ovzdušia podliehať pomerne veľkým zmenám v časovej škále jednej hodiny. V dôsledku toho bude korelačná funkcia podliehať rovnakým (nestálym) variáciám. Na vyriešenie tohto problému a zlepšenie štatistiky sú korelačné funkcie v RIO konštruované na základe celého historického súboru časových radov meraní. Týmto spôsobom možno na konštrukciu korelačnej funkcie použiť väčší súbor údajov za rôzne roky. Okrem toho tento postup umožňuje vytvoriť jedinečnú korelačnú funkciu pre vybrané časové intervaly (resp. agregácie dát), ktorá sa ďalej aplikuje v interpolačnom modeli.

Korelačné funkcie možno zostrojiť pre rôzne agregácie dát napr.: maximálne 1-hodinové hodnoty, denné priemerné hodnoty, maximálne denné 8-hodinové priemerné hodnoty alebo hodnoty pre každú konkrétnu hodinu dňa.

## 2.6 Retrendovanie

Po interpolovaní detrendovaných hodnôt koncentrácií je nutné obnoviť pôvodnú lokálnu charakteristiku pre indivi-

duálne stanice ale aj všetky ostatné body výstupnej mriežky. Toto sa dosiahne pomocou retrendovania. Pri retrendovaní sa v závislosti na hodnote  $\beta$  rezíduum  $\Delta C(\beta)$  odčíta od interpolovanej hodnoty ako na Obr. 5 pre všetky mriežkové body.

**Table 1. Stations overview.**

Tabuľka 1. Prehľad staníc.

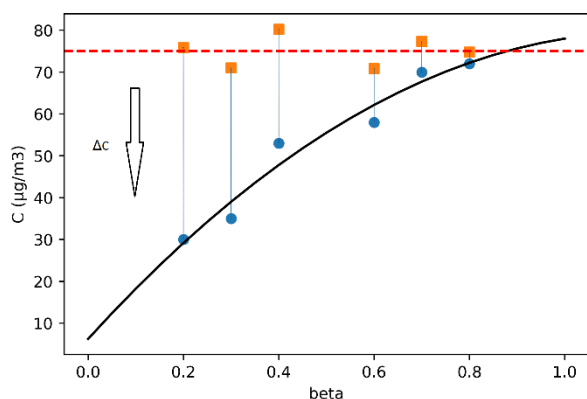
| EOI     | Názov                           | Umies-<br>tnenie | Typ | Nadm.<br>výška [m] |
|---------|---------------------------------|------------------|-----|--------------------|
| SK0263A | Banská Bystrica, Zelená         | U                | B   | 425                |
| SK0214A | Banská Bystrica, Štefánik. náb. | U                | T   | 346                |
| SK0074A | Bardejov, Pod Vinbargom         | U                | B   | 263                |
| SK0048A | Bratislava, Jeséniova           | S                | B   | 287                |
| SK0004A | Bratislava, Kamenné nám.        | U                | B   | 139                |
| SK0001A | Bratislava, Mamatejova          | U                | B   | 138                |
| SK0061A | Bratislava, Púchovská           | U                | T   | 152                |
| SK0002A | Bratislava, Trnavské Mýto       | U                | T   | 136                |
| SK0013A | Bystričany, Rozvodňa SSE        | S                | B   | 251                |
| SK0002R | Chopok, EMEP                    | R                | B   | 1958               |
| SK0041A | Gánovce, Meteo. st.             | R                | B   | 706                |
| SK0027A | Handlová, Morovianska cesta     | U                | B   | 448                |
| SK0022A | Hnúšťa, Hlavná                  | U                | B   | 320                |
| SK0037A | Humenné, Nám. slobody           | U                | B   | 145                |
| SK0025A | Jelšava, Jesenského             | U                | B   | 271                |
| SK0042A | Kojšovská hola                  | R                | B   | 1230               |
| SK0406A | Kolonické sedlo                 | R                | B   | 449                |
| SK0064A | Komárno, Vnútrná Okružná        | U                | B   | 112                |
| SK0264A | Košice, Amurská                 | U                | B   | 195                |
| SK0016A | Košice, Ďumbierska              | U                | B   | 202                |
| SK0267A | Košice, Štefánikova             | U                | T   | 211                |
| SK0265A | Krompachy, SNP                  | U                | T   | 371                |
| SK0067A | Liptovský Mikuláš, Školská      | U                | B   | 580                |
| SK0072A | Lučenec, Gemerská cesta         | S                | T   | 185                |
| SK0407A | Malacky, Mierové námestie       | U                | T   | 165                |
| SK0039A | Martin, Jesenského              | U                | T   | 397                |
| SK0076A | Mobil Rovinka                   | S                | B   | 129                |
| SK0134A | Nitra, Janíkovce                | U                | B   | 140                |
| SK0269A | Nitra, Štúrova                  | U                | T   | 151                |
| SK0071A | Oščadnica                       | R                | B   | 468                |
| SK0075A | Pezinok, Obrancov mieru         | U                | B   | 150                |
| SK0070A | Plášťovce                       | R                | B   | 154                |
| SK0069A | Poprad, Železničná              | S                | T   | 678                |
| SK0266A | Prešov, arm. gen. L. Svobodu    | U                | T   | 244                |
| SK0050A | Prievidza, Malonecpalská        | U                | B   | 269                |
| SK0066A | Púchov, 1.mája                  | S                | I   | 265                |
| SK0008A | Ružomberok, Ríadok              | U                | B   | 479                |
| SK0068A | Senec, Boldocká                 | U                | T   | 330                |
| SK0021A | Senica, Hviezdoslavova          | U                | T   | 207                |
| SK0063A | Sereď, Vinárska                 | U                | B   | 128                |
| SK0006R | Starina, Vodná nádrž, EMEP      | R                | B   | 324                |
| SK0004R | Stará Lesná, AÚ SAV, EMEP       | R                | B   | 808                |
| SK0030A | Strážske, Mierová               | U                | B   | 134                |
| SK0007R | Topolníky, Aszód, EMEP          | R                | B   | 109                |
| SK0073A | Trebišov, T. G. Masaryka        | U                | B   | 107                |
| SK0047A | Trencín, Hasicská               | U                | T   | 216                |
| SK0045A | Trnava, Kollárova               | U                | T   | 144                |
| SK0018A | Veľká Ida, Letná                | S                | I   | 207                |
| SK0031A | Vranov nad Top., M.R.Štefánika  | U                | B   | 126                |
| SK0262A | Zvolen, J. Alexyho              | U                | B   | 315                |
| SK0065A | Žarnovica, Dolná                | S                | B   | 223                |
| SK0268A | Žiar nad Hronom, Jilemnického   | U                | B   | 293                |
| SK0020A | Žilina, Obežná                  | U                | B   | 357                |
| SK0077A | Rohožník, Senická cesta         | S                | T   | 201                |

U - mestská, S - predmestská, R - regionálna

T - dopravná, B - pozadová, I - priemyselná

### Obrázok 5. Schématické znázornenie retrendovania.

Figure 5. Schematic representation of retrending.



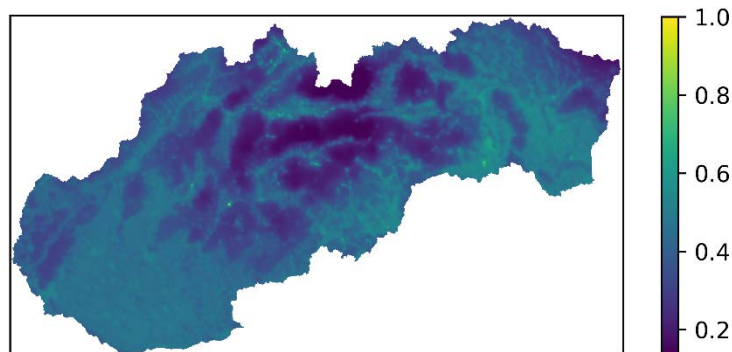
## 3. VÝSLEDKY

Model RIO bol nakonfigurovaný v rozlíšení 1 km x 1 km, ktoré umožňuje vytváranie podrobných máp v rámci celého Slovenska.

Vo výsledkovej časti sú uvedené výstupy z modelovania pre agregáciu dát denných priemerov, ktorú označujeme ako *da*. Iné agregácie majú individuálne trendové krivky, ale celkový geoštatistický charakter zostáva pre konkrétnu znečisťujúcu látku veľmi podobný. Drivers prislúchajúce k rôznym znečisťujúcim látkam sú prezentované ako bezrozmerné polia, georeferencované tak, aby zachytávali celé územie Slovenska. Validácia prebieha pomocou automatickej rutiny, ktorá postupne vynecháva jednotlivé stanice z interpolačného procesu (metóda *leave one out*) a merané dáta porovnáva s výsledkom modelu. Tu treba podotknúť, že aj keď je stanica v procese validácie vylúčená z interpolácie, historické dáta merané na danej stanici boli súčasťou regresnej časti modelu. Pri validácii vyhodnocujeme tri štatistické parametre RMSE, BIAS a R (korelačný koeficient).

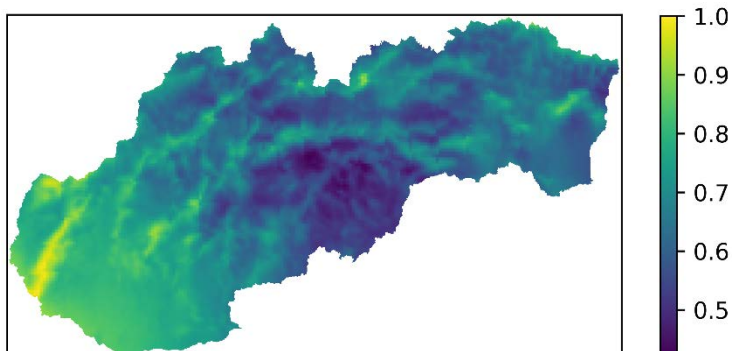
### 3.1 PM<sub>10</sub>

Pre výpočet PM<sub>10</sub> bolo do modelu RIO zahrnutých 33 staníc merajúcich PM<sub>10</sub> s dostatočným rozsahom dát. Stanice majú dobrú geografickú reprezentatívnosť v rámci územia SR s rozptylom priemeru historických meraní ~ 10 až 40 µg/m<sup>3</sup>.



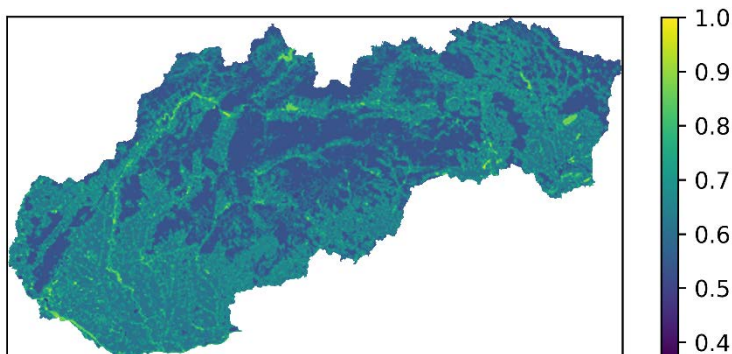
Obrázok 6.  
Driver: Koncentrácie PM<sub>10</sub>-  
výstup modelu AtmoStreet pre  
rok 2019.

Figure 6.  
Driver: PM<sub>10</sub> concentrations -  
AtmoStreet model output for 2019.



Obrázok 7.  
Driver: ventilačný index  
pre rok 2019 z modelu  
Aladin rozlíšením 2 x 2 km.

Figure 7.  
Driver: ventilation index for  
2019 from the Aladin model  
with a resolution of 2 x 2 km.

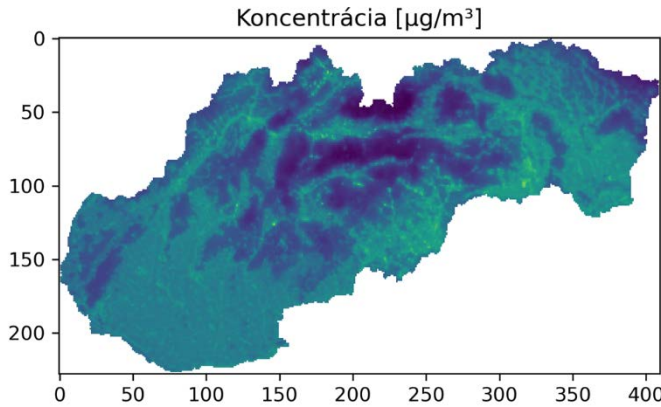
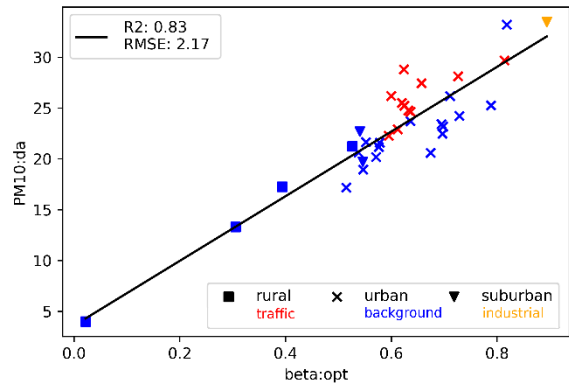


Obrázok 8.  
Driver: optimalizovaný CLC  
(CORINE land cover) pre PM<sub>10</sub>.

Figure 8.  
Driver: optimized CLC  
(CORINE land cover) for PM<sub>10</sub>.

**Obrázok 9.**  
**Trendová krivka pre optimalizovaný driver založený na kombinácii modelu AtmoStreet (Obr. 6) - 0,602, ventilačného indexu (Obr. 7) - 0,061, CLC (Obr. 8) - 0,165, nadmorskej výšky - 0,085 a emisiách z lokálnych kúrenísk - 0,088.**

Figure 9.  
 Trend curve for optimized driver based on combinations of AtmoStreet model (Fig. 6) - 0.602, ventilation index (Fig. 7) - 0.061, CLC (Fig. 8) - 0.165, altitude - 0.085 and emissions from local heating plants - 0.088.

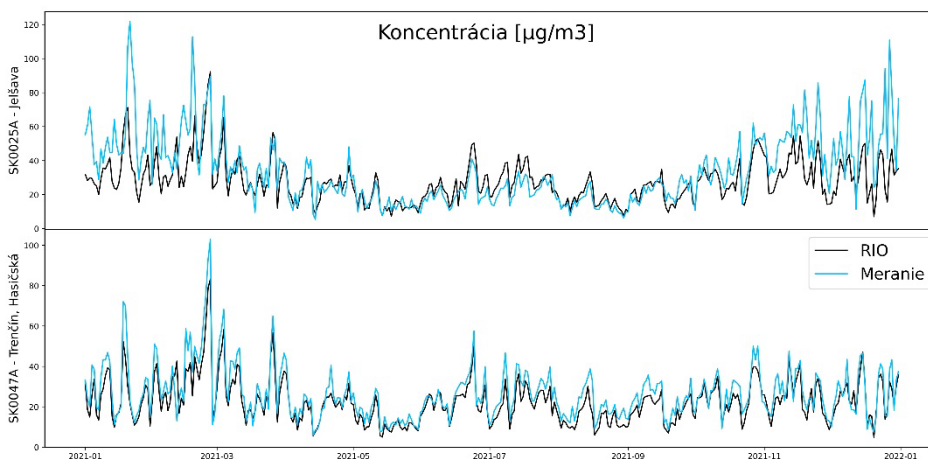
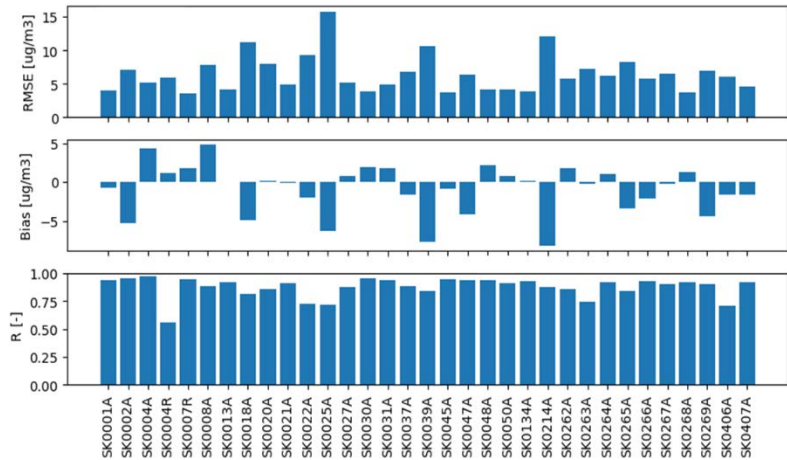


**Obrázok 10.**  
**Výsledná mapa priemerných ročných koncentrácií PM<sub>10</sub> vypočítaných modelom RIO z denných priemerných hodnôt.**

Figure 10.  
 The resulting map of annual average PM<sub>10</sub> concentrations calculated by the RIO model from daily average values.

**Obrázok 11.**  
**Validácia Leave One Out PM<sub>10</sub> pre rok 2021.**

Figure 11.  
 Leave One Out validation of PM<sub>10</sub> for 2021.



**Obrázok 12.**  
**Validácia Leave One Out PM<sub>10</sub> - denný priemer koncentrácií.**

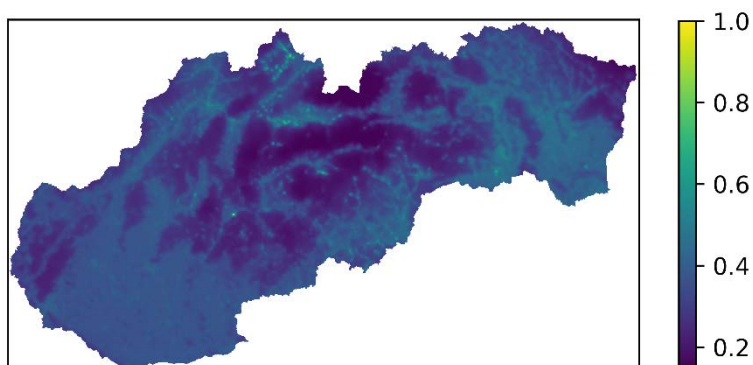
Figure 12.  
 Leave One Out validation of PM<sub>10</sub> - daily average concentrations.

Výsledná mapa reprezentujúca ročný priemer koncentrácií  $PM_{10}$  zachytáva orografický charakter Slovenska s výraznejšími koncentraciami v oblasti juhu stredného Slovenska, Ružomberka, Oravy a Košíc, kde sú indikované zvýšené koncentrácie (Obr. 10). Mapa vznikla s využitím drivera, ktorý kombinuje zo 60 % výstup AtmoStreet modelovania, CLC driver 16,5 % a zvyšné drivery z menším zastúpením (Obr. 9). Validácia (Obr. 11) preukazuje výborné výsledky pre všetky stanice s výnimkou SK0004R – Stará Lesná z hľadiska parametra R. Relatívne vysoké RMSE bolo zaznamenané pre stanicu SK0025A – Jelšava, pre ktorú sú typické epizódy vysokých koncentrácií, ktorých správne zachytenie je v niektorých prípadoch pre model problematickejšie (Obr. 12). Priemerná výkonnosť modelov pre všetky stanice dosahuje hodnoty  $RMSE = 6,47 \mu g/m^3$ ,  $BIAS = -0,97 \mu g/m^3$  a  $R = 0,87$ .

### 3.2 $PM_{2,5}$

Pre výpočet  $PM_{2,5}$  bolo do RIO zahrnutých 32 staníc s dostatočným rozsahom dát. Stanice majú dobrú geografickú reprezentatívnosť v rámci územia SR s rozptylom priemeru historických meraní ~10 až  $23 \mu g/m^3$ .

Podobne ako v prípade  $PM_{10}$ , výsledná mapa reprezentujúca ročný priemer zachytáva orografický charakter Slovenska s oblasťami vyšších koncentrácií na juhu stredného Slovenska, a Košíc (Obr. 15). Driver uplatnený v regresnej časti modelu je v tomto prípade iba jeden - výstup z AtmoStreet modelu pre  $PM_{2,5}$ , ktorý samotný preukázal výborné štatistické parametre pri naftovaní trendovej krivky (Obr. 14). Validácia (Obr. 16) dosahuje výborné výsledky pre všetky stanice s výnimkou SK0004R – Stará Lesná.

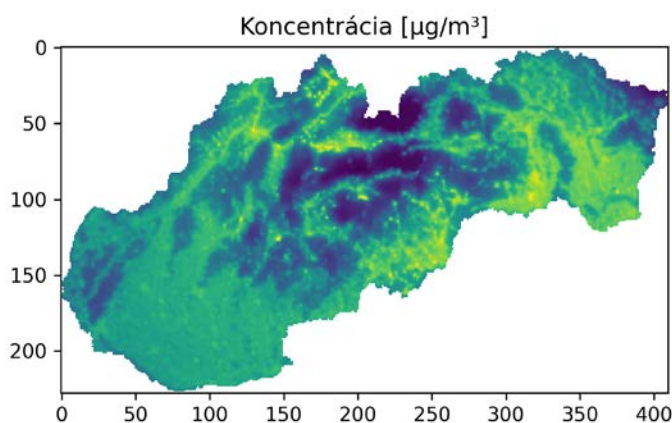
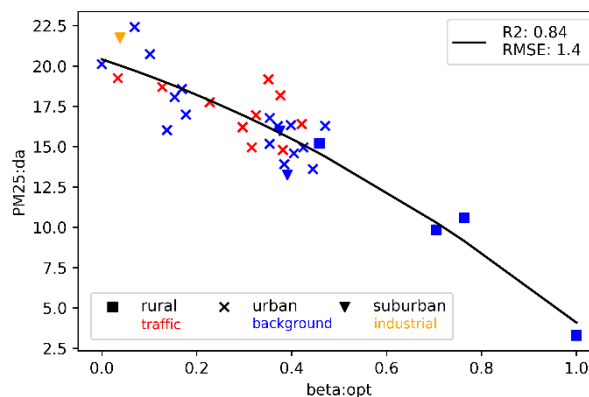


**Obrázok 13.**  
Driver: Koncentrácie  $PM_{2,5}$  - výsledky modelu AtmoStreet pre rok 2019.

Figure 13.  
Driver:  $PM_{2,5}$  concentrations - AtmoStreet model results for 2019.

**Obrázok 14.**  
Trendová krivka pre optimalizovaný driver založený výlučne na výsledkoch modelu AtmoStreet pre  $PM_{2,5}$  (Obr. 13).

Figure 14.  
Trend curve for the optimized driver based exclusively on the results of the AtmoStreet model for  $PM_{2,5}$  (Fig. 13).

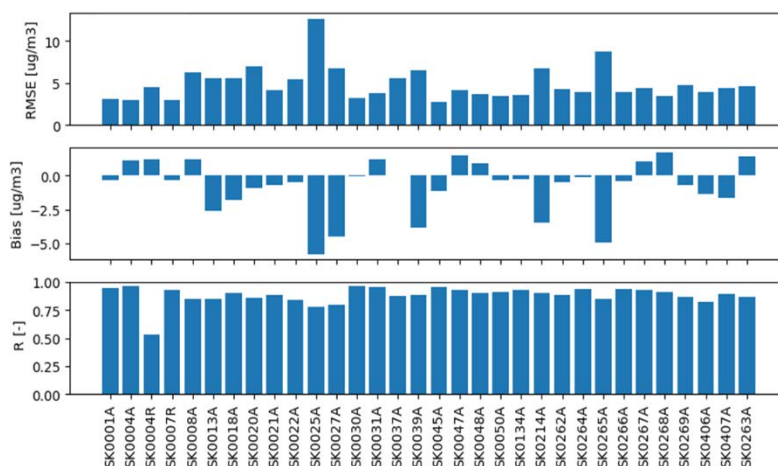


**Obrázok 15.**  
Výsledná mapa priemerných ročných koncentrácií  $PM_{2,5}$  vypočítaných modelom RIO z denných priemerných hodnôt.

Figure 15.  
The resulting map of annual average  $PM_{2,5}$  concentrations calculated by the RIO model from daily average values.

**Obrázok 16.**  
**Validácia Leave One Out**  
**PM<sub>2.5</sub> pre rok 2021.**

**Figure 16.**  
**Leave One Out validation**  
**of PM<sub>2.5</sub> for 2021.**

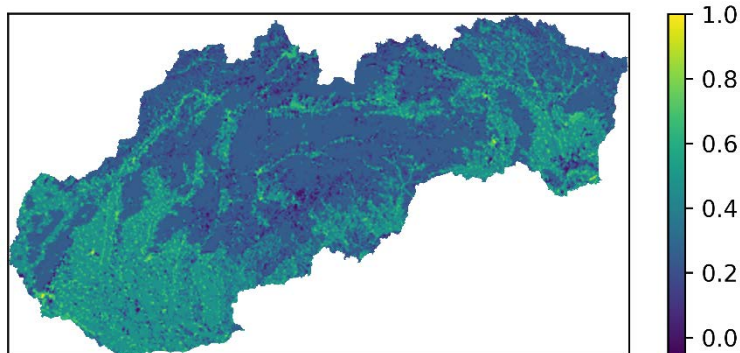


Relatívny vysoké RMSE bolo zaznamenané pre stanicu SK0025A – Jelšava, kde sú typické epizódy vysokých koncentrácií v zime. Priemerná výkonnosť modelov pre všetky stanice dosahuje hodnoty RMSE = 4,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , BIAS = -0,78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a R = 0,88.

### 3.3 NO<sub>2</sub>

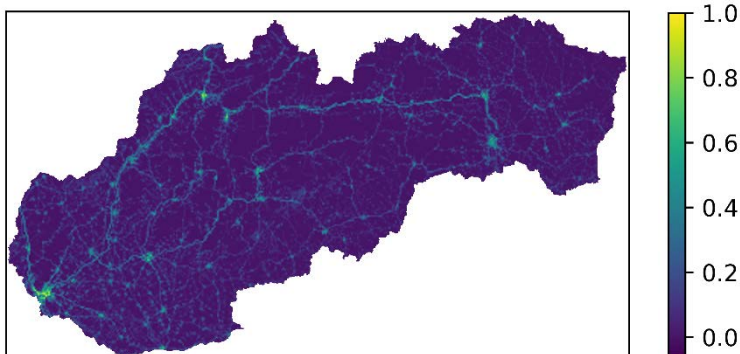
Pre výpočet NO<sub>2</sub> bolo do modelu RIO zahrnutých 26 staníc merajúcich NO<sub>2</sub> s dostatočným rozsahom historických meraní. Stanice majú pomerne dobrú geografickú reprezentatívnosť v rámci územia SR so rozptylom priemeru historických meraní ~2 až 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Najvyššie hodnoty sú typicky dosahované na mestských dopravných staniách, najnižšie na regionálnych pozad'ových staniách (Obr. 19).

Výsledná mapa reprezentujúca ročný priemer koncentrácií NO<sub>2</sub> (Obr. 20) zachytáva najmä sídelnú štruktúru Slovenska s výraznejšími oblasťami v hustejšie obývaných častiach s vyššou intenzitou dopravy. Driver využitý v tomto prípade pozostáva z ~ 70 % CLC a 30 % z intenzity dopravy. Na regresnej krivke na Obr. 19 je dobre viditeľné zoskupenie mestských dopravných staníc na jednej strane a pozad'ových staníc na druhej strane krivky. Validácia (Obr. 21) dosahuje dobré výsledky pre všetky stanice s výnimkou SK0002R – Stará Lesná, SK0042A – Kojšovská Hoľa, SK0407A – Malacky, Mierové námestie. Relatívne vysoké RMSE bolo zaznamenané pre stanicu SK0266A – Prešov, arm. gen. L. Svobodu. Priemerná výkonnosť modelov pre všetky stanice dosahuje hodnoty RMSE = 6,75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , BIAS = -1,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a R = 0,68.



**Obrázok 17.**  
**Driver: CLC optimalizovaný**  
**pre NO<sub>2</sub>.**

**Figure 17.**  
**Driver: CLC optimized for NO<sub>2</sub>**

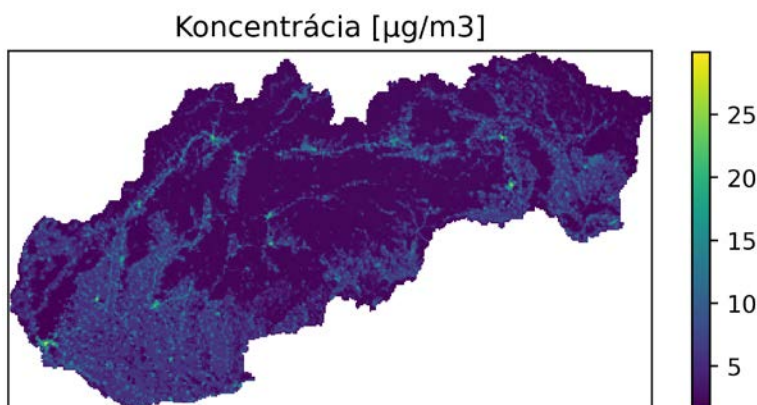
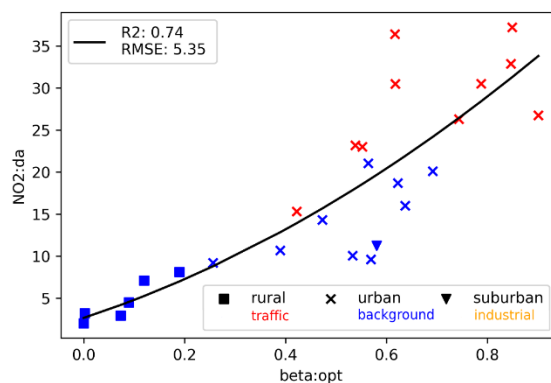


**Obrázok 18.**  
**Driver: dopravná intenzita (lineárne**  
**škálované dáta intenzít cestnej dopravy,**  
**aplikované na celú cestnú sieť SR).**

**Figure 18.**  
**Driver: traffic intensity (linearly scaled**  
**road traffic intensity data, applied to**  
**the entire road network of the Slovak**  
**Republic).**

**Obrázok 19.**  
Trendová krivka pre optimalizovaný driver založený na CLC (Obr. 17) a intenzite dopravy na cestách (Obr. 18).

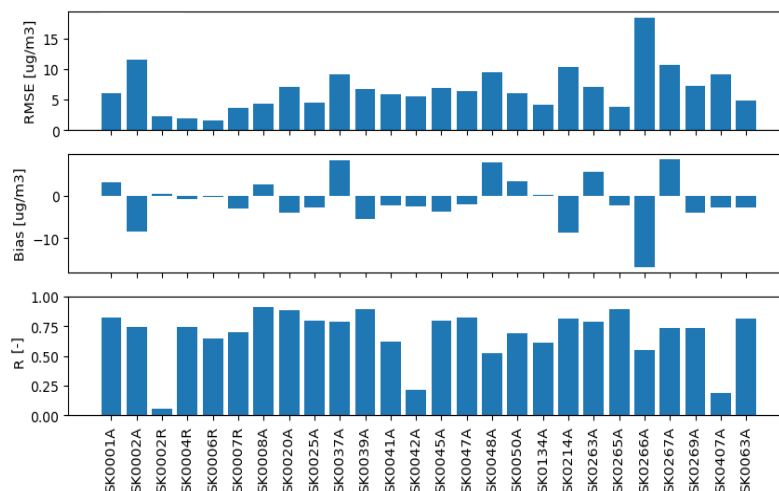
Figure 19.  
Trend curve for the optimized driver based on CLC (Fig. 17) and traffic intensity on roads (Fig. 18).



**Obrázok 20.**  
Výsledná mapa reprezentujúca priemerné ročné koncentrácie NO<sub>2</sub> vypočítané modelom RIO z denných priemerných hodnôt.

Figure 20.  
The resulting map representing the average annual NO<sub>2</sub> concentrations calculated by the RIO model from daily average values.

**Obrázok 21.**  
Validácia Leave One Out NO<sub>2</sub> pre rok 2021.  
Figure 21.  
Leave One Out validation of NO<sub>2</sub> for 2021.



## ZÁVER

Interpolačno-regresný model RIO bol využitý na štatistické modelovanie znečistenia ovzdušia na Slovensku pre rok 2021. Výhodou štatistického modelovania je relatívne nízka výpočtová náročnosť a rýchlosť výpočtu, ktorá umožňuje produkciu máp takmer v reálnom čase. Takéto mapy sa od leta 2022 operatívne produkujú každú hodinu na webovej stránke SHMÚ [https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko\\_mapy](https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko_mapy). Okrem toho sú mapy priemerných ročných charakteristík, využívajúce model RIO, publikované v každoročných Správach o kvalite ovzdušia v SR od roku 2020 ([https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko\\_roc\\_s](https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=oko_roc_s)).

Výrazne limitujúcim faktorom modelu RIO je dostupnosť dostatočne veľkého počtu meracích bodov pokrýva-

júcich orografickú variabilitu Slovenska, ako aj rozloženie hlavných zdrojov znečistenia. Ďalším limitujúcim faktorom je vytvorenie dostatočne kvalitného drivera do regresnej časti modelovania, a to z dôvodu častokrát nedostatočnej kvality geopriestorových údajov. Z týchto dôvodov sa model RIO používa najmä na znečisťujúce látky PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> a NO<sub>2</sub> pre ktoré je dostupné najväčšie množstvo meraných údajov a relatívne podrobných emisných dát.

Výstupom modelovania pre každú znečisťujúcu látku je mapa s počtom bodov 410 x 228 s rozlíšením 1 x 1 km obsahujúca priemerné denné hodnoty koncentrácií pre celý rok 2021. Tieto boli spracované do výsledného ročného priemeru pre jednotlivé znečisťujúce látky (Obr. 10, 13 a 19).

Validácia (Obr. 11, 16 a 21) pre jednotlivé modelované znečisťujúce látky podľa sledovaných štatistických parametrov ukazuje pomerne vysokú kvalitu modelov vo výraznej väčšine prípadov. Výsledky všeobecne dosahujú vyššiu kvalitu pre PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, aj z toho dôvodu, že medzi stanicami je vyššia vzájomná korelácia ako v prípade NO<sub>2</sub>, ktorý sa prejavuje výrazne lokálnejším charakterom (križovatky s vysokou intenzitou dopravy, efekty kaňonov ulíc). Určitú úlohu zohráva aj množstvo dostupných meračích bodov, ktoré je v prípade PM vyššie. V prípade niektorých staníc sa ako problematickejšie zdá byť modelovanie epizód vyšších koncentrácií, kedy môže dôjsť k podhodnocovaniu koncentrácií. Na druhej strane niektoré epizódy môžu mať aj pomerne náhodný charakter (konštrukčné práce, požiar...) nezávislý od bežného výskytu zdrojov vysokých emisií alebo oblastí s typicky výrazným vplyvom meteorológie, pre ktoré sa regresná časť modelovania zvyčajne optimalizuje. V rámci zlepšovania kvality modelov RIO sa do budúcnosti ďalšia pozornosť bude zameriavať na vylepšenie metód validačného procesu vrátane možného vzniku overfitingu v regresnej časti modelu.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] EEA 1995, *CORINE Land Cover Project, published by Commission of the European Communities.*
- [2] Janssen, S.–Dumont, G.–Fierens, F.–Mensink, C., *Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data., Atmospheric Environment, 2008, 42, 4884–4903*
- [3] Hooyberghs, J.–Mensink, C.–Dumont, G.–Fierens, F., *Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in Belgium, J. Environ. Monit., 2006, 8, 1129–1135.*
- [4] Isaaks, E.H.–Srivastava, R.M., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York.*
- [5] Van Leeuwen, E.P.–Draaijers, G.P.J.–Erisman, J.W., 1996, *Mapping wet deposition of acidifying components and base cations over Europe using measurements, Atmospheric Environment, 30, 2495–2511.*
- [6] United States Environmental Protection Agency, 2020, *CMAQ (Version 5.3.2) [Software]. Available from <https://doi.org/10.5281/zenodo.4081737>.*
- [7] Hooyberghs, H.–De Craemer, S., *Validation and optimization of the ATMO-Street air quality model chain by means of a large-scale citizen-science dataset, Atmospheric Environment, Volume 272, 1 March 2022, 118946.*
- [8] European Union, *Copernicus Land Monitoring Service 2019, European Environment Agency (EEA)*, f.ex. in 2018: “© European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2018, European Environment Agency (EEA).”
- [9] Termonia, P.–Fischer, C.–Bazile, E.–Bouyssel, F.–Brožková, R.–Bénard, P.–Bochenek, B.–Degrauwe, D.–Derková, M.–El Khatib, R.–Hamdi, R.–Mašek, J.–Pottier, P.–Pristov, N.–Seity, Y.–Smolíková, P.–Španiel, O.–Tudor, M.–Wang, Y.–Wittmann, C.–Joly, A., 2018, *The ALADIN System and its Canonical Model Configurations AROME CY4IT1 and ALARO CY4OT1. Geosci. Model Dev., Vol 11, 257–281. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-257-2018>.*
- [10] Simon, A.–Belluš, M.–Čatlošová, K.–Derková, M.–Dian, M.–Imrišek, M.–Kaňák, J.–Méři, L.–Neštiak, M.–Vivoda, J., 2021, *Numerical simulations of June 7, 2020 convective precipitation over Slovakia using deterministic, probabilistic, and convection-permitting approaches. IDŐJÁRÁS Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 125, No. 4, October–December, 2021, 571–607, DOI:10.28974/idojaras.2021.4.3.*
- [11] Krajčovičová, J., 2020, *High-resolution residential emission model for use in the air quality modelling. Meteorologický časopis, Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 17. 10. 2022.*
- [12] <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1/view>



# BENZO(A)PYRÉN V OVZDUŠÍ NA SLOVENSKU

JANA MATEJOVIČOVÁ, JURAJ BEŇO, JANA KRAJČOVIČOVÁ, JÁN KLIMEK, SLAVOMÍR MELICHER,  
MARTIN KREMLER, DUŠAN ŠTEFÁNIK, VLADIMÍR NEMČEK

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

*In the field of air pollution, benzo(a)pyrene is currently the most significant problem in Slovakia. While the limit value for "traditionally problematic" PM<sub>10</sub> was exceeded in Slovakia at 8% of the monitoring stations in 2021, (3 out of 38 stations that had enough valid measurements), according to the last air quality assessment, the target value for benzo(a)pyrene was exceeded at more than 56% of the evaluated stations (9 out of 16 stations with sufficient valid data). Based on data available so far, we expect most of the new stations also show high concentrations, although we will only be able to evaluate them next year. According to the latest available data, household heating accounted for more than 80% of total benzo(a)pyrene emissions in the Slovak Republic. Gaps in the measurements of benzo(a)pyrene were filled by using neural networks, the average correlation coefficient of the models in the prediction was 0.8. According to the results of mathematical modelling, areas with a higher usage of solid fuels for household are most at risk of high benzo(a)pyrene, especially in locations with adverse dispersion conditions.*

*V oblasti znečistenia ovzdušia je v súčasnosti na Slovensku najvýraznejším problémom benzo(a)pyrén. Kým limitná hodnota pre „tradične problémové“ PM<sub>10</sub> bola podľa posledného hodnotenia kvality ovzdušia prekročená na Slovensku na 8 % monitorovacích staníc (3 z 38 staníc, ktoré mali v roku 2021 dostatok platných meraní), cieľová hodnota pre benzo(a)pyrén bola v roku 2021 prekročená na viac než 56 % hodnotených staníc (9 z 16 staníc s dostatkom platných údajov). Podľa posledných dostupných údajov tvorilo vykurovanie domácností viac než 80 % celkových emisií benzo(a)pyrénu v SR. Merania benzo(a)pyrénu sme doplnili odhadom pomocou neurónových sietí, koeficient determinácie bol v intervale od 0,2 do 0,9. Podľa výsledkov matematického modelovania sú benzo(a)pyrénom najviac ohrozené oblasti s vysokým podielom tuhých palív na vykurovaní domácností najmä v lokalitách s nepriaznivými rozptylovými podmienkami.*

*Key words: benzo(a)pyrene, monitoring, air quality modelling, emissions, neural networks*

## ÚVOD

Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAHs, z anglického polycyclic aromatic hydrocarbons) patria medzi organické znečisťujúce látky s dvomi alebo viacerými kondenzovanými benzénovými jadrami v molekule. Štúdiu vlastností PAHs a ich osudu v životnom prostredí sa venuje zvýšená pozornosť, pretože viaceré z nich majú karcinogénne, mutagénne a teratogénne vlastnosti a bol dokázaný aj ich imunosupresívny vplyv na rôzne organizmy (Boström a kol., 2002; EPA, 2017; WHO, 2021).

Antropogénnym zdrojom emisií PAHs do ovzdušia je najmä vykurovanie domácností (IIR, 2022), tepelné elektrárne, priemyselné procesy, ako je výroba koksu a metalurgia, spaľovanie odpadu, výroba a použitie asfaltu a asfaltových krytín, výroba bitúmenových zmesí a pod. Prírodným zdrojom sú lesné požiare, vulkanická činnosť, činnosť niektorých mikroorganizmov. PAHs sa vyskytujú vo všetkých zložkách životného prostredia (Gusev a kol., 2005). Z ovzdušia sa prostredníctvom suchej a mokrej depozície dostávajú do pôdy, povrchových aj podzemných vôd a bioty. Voda a pôda môžu byť priamo kontaminované aj z priemyselných odpadových vôd, v dôsledku chýb pri manipulácii s ropnými produktami a z dopravy. Vymývanie

zrážkami, ktoré predstavuje dominantný proces odbúravania prachových častíc z atmosféry je pri lipofilných látkach ako sú PAHs oveľa menej efektívne než pri anorganických zložkách atmosférického aerosólu.

Do skupiny PAHs patrí aj benzo(a)pyrén (BaP), tvorený piatimi aromatickými jadrami. Pre svoje karcinogénne vlastnosti bol v legislatíve EÚ vybraný ako indikátor pre celú skupinu látok, ktoré majú podobný pôvod a vlastnosti. V ovzduší má pre ochranu zdravia ľudí a vegetáciu stanovenú ročnú cieľovú hodnotu pre priemernú ročnú koncentráciu<sup>1</sup>. Preto sa v ďalšom texte budeme venovať najmä BaP, hoci údaje o koncentráciách nameraných na monitorovacích staniciach na území Slovenska sú dostupné aj pre širšiu skupinu PAHs.

V tejto štúdií poskytujeme prehľad o vývoji emisií BaP, o hodnotách koncentrácií BaP nameraných v ovzduší v SR a EÚ. Venujeme sa matematickému modelovaniu BaP pre účely celoročného plošného hodnotenia a pre výpočet podielu jednotlivých zdrojov na znečistení. Ďalej v štúdií poskytujeme ukážku výstupu individuálnych modelov neurónových sietí vytvorených pre vybrané stanice Národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia (NMSKO) za účelom vyplnenia medzier v časových radoch nameraných koncentrácií BaP.

<sup>1</sup> Cieľová hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu BaP 1 ng.m<sup>-3</sup> je daná po implementácii európskej právnej normy Vyhláškou MŽP SR č. 244/2016 Z. z. o kvalite ovzdušia.

## Benzo(a)pyrén v krajinách Európy

Podľa posledných dostupných údajov 11 z 27 európskych krajín zaznamenalo v roku 2020 prekročenie cieľovej hodnoty pre BaP (EEA, 2022). Priestorové rozloženie staníc s vysokými hodnotami priemernej ročnej koncentrácie BaP v roku 2020 je vidieť na Obr. 1.

Medzi krajiny s najvyššími nameranými koncentraciami BaP patrili v roku 2020 Poľsko, Česká republika, Slovensko a Taliansko (Obr. 2).

Pri porovnaní najvyšších priemerných ročných koncentrácií z meraní v Českej republike a na Slovensku sú najvyššie hodnoty namerané na lokalitách s podobnou štruktúrou zdrojov znečisťovania ovzdušia - výroba koksu a metalurgia v kombinácii s vykurovaním domácností. Veľká Ida pri Košiciach mala v roku 2021 priemernú ročnú koncentráciu BaP  $6,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  (SHMÚ, 2022) a Ostrava - Radvanice  $8,9 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  (CHMI, 2022).

Okrem toho je prekračovanie cieľovej hodnoty v oboch krajinách, podobne ako v Poľsku každoročne evidované najmä v lokalitách, kde je hlavným zdrojom vykurovanie domácností tuhým palivom (Schreiberová a kol., 2021; Hůnová a kol., 2020; Hůnová a kol., 2022; EEA, 2022).

## METODIKA

Keďže tento text má aj prehľadový charakter, zmienime sa aspoň v krátkosti o všetkých dostupných druhoch údajov, ktoré sa týkajú znečistenia ovzdušia benzo(a)pyrénom v SR.

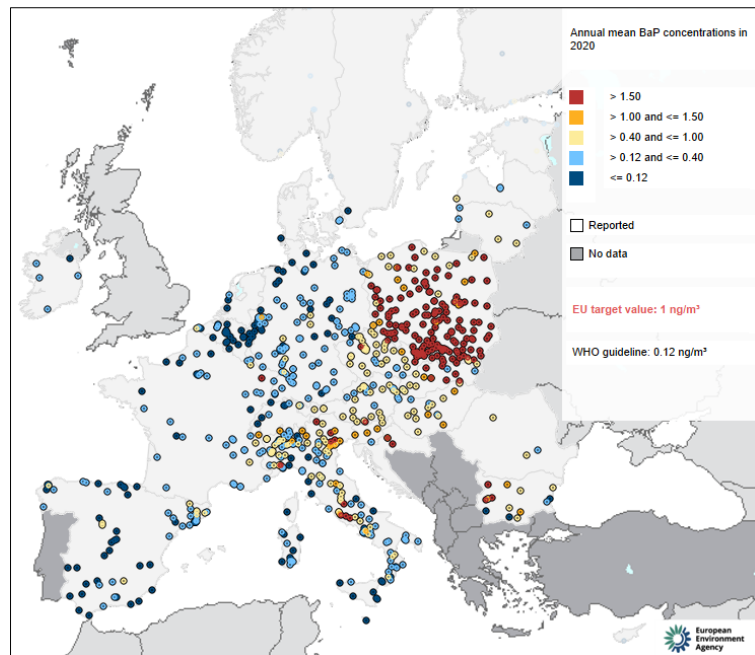
## Inventarizácia emisií

Výsledkom kvantifikácie emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia sú emisné inventúry (IIR, 2022) ktoré sú každoročne vypracované na SHMÚ podľa požiadaviek jednotlivých protokolov k Dohovoru o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcim hranicami štátov<sup>2</sup>.

Aarhuský protokol o Persistentných organických látkach k CLRTAP stanovuje povinnosť členských štátov vyhodnocovať v predpísanej štruktúre emisie polychlóvaných dibenzodioxínov (PCDD) a dibenzofuránov (PCDF), polychlorovaných bifenylov (PCB) a z polycyklických aromatických uhlíkovodíkov (PAHs) pokrýva benzo(a)pyrén, benzo(b)fluorantén, benzo(k)fluorantén, indeno(123-cd)pyrén.

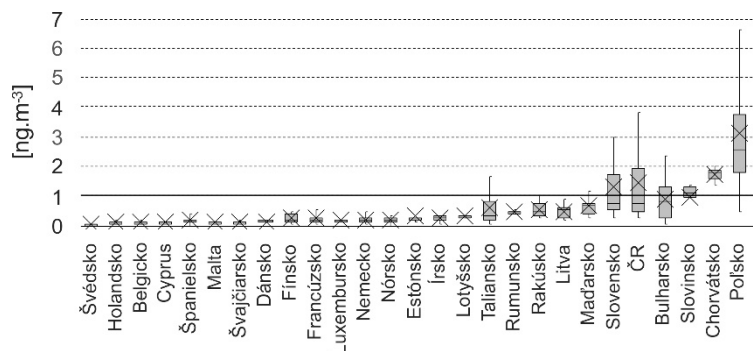
Obrázok 1. Priemerné ročné koncentrácie BaP namerané v Európe v roku 2020 (EEA, 2022). Poznámka: Sivé plochy zodpovedajú oblastiam, z ktorých nie sú dostupné údaje.

Figure 1. Mean annual BaP concentrations, 2020 (EEA, 2022).



Obrázok 2. Štatistické spracovanie priemerných ročných koncentrácií BaP [ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ] podľa krajín v EÚ v roku 2020 (EEA, 2022).

Figure 2. Box plot of mean annual BaP concentrations measured at the monitoring stations in EU countries [ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ].



## Monitoring (meranie koncentrácie BaP v ovzduší)

### Odber vzoriek

V SR sú monitorované PAHs od roku 2006. Vzorky sa odoberajú na kremenný filter, pričom podľa požiadaviek legislatívy<sup>3</sup> sa vzorkuje vo veľkostnej frakcii PM<sub>10</sub> každý tretí deň. Výnimkou je vzorkovanie v Prievidzi a v Ružomberku, kde sú na jednom vzorkovači striedavo odoberané vzorky na analýzu ťažkých kovov a polycyklických aromatických uhlíkovodíkov, preto hodnoty BaP z týchto staníc sú dostupné každý druhý deň. Keďže BaP za pri-

<sup>2</sup> Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, CLRTAP – dohovor uzatvorený v roku 1979 v Ženeve členskými štátmi Hospodárskej komisie OSN pre Európu s cieľom

spolupracovať na zamedzovaní znečisťovania ovzdušia, resp. znižovaní vypúšťania znečisťujúcich látok.

<sup>3</sup> Vyhláška MŽP SR č. 244/2016 Z.z. o kvalite ovzdušia.

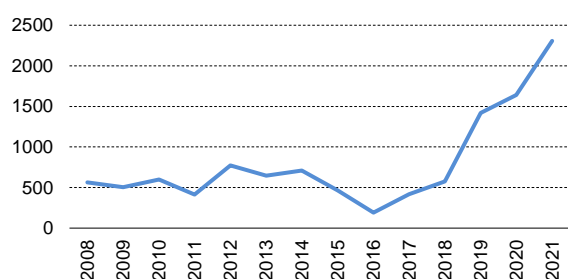
tomnosti ozónu degraduje, vo vzorkovačoch je predradený ozónový denuder.

Okrem BaP sa vo vzorkách analyzujú ďalšie polycyklické aromatické uhľovodíky (benzo(a)antracén, chryzén, benzo(b)fluorantén, benzo(k)fluorantén, indeno(123-cd)pyrén, dibenz(ah)antracén a benzo(ghi)perylén).

V priebehu rokov sa používali na odber vzoriek rôzne typy vzorkovačov (Obr. 4). V začiatkoch meraní bolo pri analýze používané spájanie vzoriek (pooled samples) - vzorky z monitorovacích miest, kde sa nepredpokladali vyššie koncentrácie, sa z kapacitných dôvodov spájali obvykle po 5 filtrov, pre menej zaťažené lokality boli preto výsledkom merania priemerné koncentrácie za približne 2 týždne. Spájanie vzoriek bolo používané pre monitorovacie stanice v Bratislave, Nitre, Trnave a v Trenčíne do januára 2012. Od februára 2012 je analyzovaná každá vzorka samostatne.

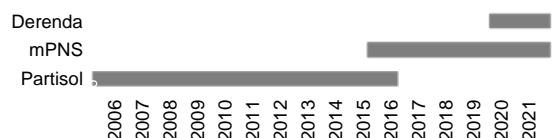
### Obrázok 3. Počet analýz BaP v rokoch 2008–2021.

Figure 3. Number of BaP analyzes in 2008–2021.



### Obrázok 4. Použitie rôznych vzorkovačov pri monitoringu BaP.

Figure 4. Samplers used for BaP sampling from 2006 to 2021.



Obr. 3 ilustruje nárast počtu analyzovaných vzoriek benzo(a)pyrénu a ostatných polycyklických aromatických uhľovodíkov od roku 2008 po posledný doteraz uzavretý rok. V roku 2021 začal monitoring polycyklických aromatických uhľovodíkov na nových staniciach v Žarnovici, Púchove, Ošchadnici a v Bratislave, na Púchovskej ulici, z toho v Žarnovici do augusta prebiehalo meranie na mobilnej monitorovacej stanici a od augusta na novej fixnej stanici (Žarnovica, Dolná), pričom v auguste merali obe paralelne.

### Laboratorne spracovanie a vyhodnotenie vzoriek

Odber vzoriek prachových častíc v ovzduší pre analýzu polycyklických aromatických uhľovodíkov sa vykonáva na kremenné filtre. Z exponovaných filtrov je potrebné získať zachytené polycyklické aromatické uhľovodíky vhodnou extrakčnou metódou. Do roku 2014 sa používala metóda extrakcie do dichlórmetánu pomocou extraktora ASE 350 firmy DIONEX. Ide o tlakový uzavretý systém s trojstupňovou statickou extrakciou pri teplote 120 °C. Objem oce-

ňových autoklávov bol 50 ml. Mŕtvy objem autoklávu bol redukovaný sklenenými guľôčkami. Celkový použitý objem rozpúšťadla bol 80 ml. Systém bol automatizovaný. Výsledný extrakt bol následne prečistený a vysušený na manuálne pripravenej chromatografickej kolóne s aktivovaným silikagélom o objeme cca 10 ml a vysúšadlom síranom sodným bezvodým (0,5 ml). Po prečistení bol extrakt prenesený do odparovacej jednotky (6-pozičnej) pozostávajúcej z rotačnej vákuovej odparky, vyhrievaného manifoldu s trepačkou, vákuovej pumpy a vymrazovacieho modulu (na záchyt odpareného rozpúšťadla). Po odparení extrakčného rozpúšťadla takmer do sucha bol extrakt prenesený pomocou 2 ml toluénu do vialky. Objem vzorky dávkaný do plynového chromatografu bol 1 µl a denná kapacita bola 6 vzoriek.

V roku 2014 bol extrakčný postup zmenený nasledovne: Existujúca mineralizačná pec MULTIWAVE 3000 firmy Anton Paar bola výrobcom upravená na prácu s rozpúšťadlami. Dokúpený bol 16-pozičný karusel s teflonovými nádobkami a vnútornou teplotno-tlakovou sondou. Hranicné hodnoty teploty a tlaku v takto upravenej mikrovlnnej peci sú  $T = 200\text{ °C}$  a  $p = 8\text{ bar}$ . Pretože dichlórmetán neabsorbuje mikrovlnné žiarenie, do nádobiek sa pridávali karbidové valčeky, ktoré umožnia ohrev rozpúšťadla. Do každej nádoby (okrem referenčnej) sa vkladá exponovaný filter, na ktorý sa pridajú vnútorné deuterované štandardy PAH (d12 chryzén a d12 perylén) a štandard pre kontrolu účinnosti extrakcie deuterovaný d12 benzo(a)pyrén. K filtrom sa pridá 15 ml extrakčného rozpúšťadla. Spustí sa program mikrovlnnej pece s dosahovanou teplotou rozpúšťadla 110 °C. Celý program vrátane chladenia trvá cca 1,5 hod. Po extrakcii sa extrakt prečisťuje a vysuša prechodom cez jednorazovú komerčnú SPE SI kolónku priamo do vialky. Dávkaný objem do plynového chromatografu je 50 µl. V roku 2021 bola metóda upravená zmenou rozpúšťadla - karcinogénny dichlórmetán bol nahradený menej škodlivou zmesou rozpúšťadiel acetón a n-hexán v pomere 1:1. Keďže acetón absorbuje mikrovlnné žiarenie, použitie karbidových valčekov už nie je potrebné.

Na stanovenie koncentrácie polycyklických aromatických uhľovodíkov vo vzorke sa používa plynový chromatograf s hmotnostnou detekciou GC 7890A s dávkovačom 7693A a hmotnostný spektrometer MSD/DS 5975C s elektrónovou ionizáciou v SIM móde od firmy Agilent. Na kalibrovanie prístroja sa používa metóda vnútorného štandardu (pomerová kalibrácia) pre zlepšenie opakovateľnosti. Na separáciu PAH v plynovom chromatografe sa používa kolóna HP – 5MS UI (30 m/0,250 mm/0,25 µm) s maximálnou prevádzkovou teplotou 325 °C. Pôvodná GC MS metóda bola v roku 2014 optimalizovaná a doba analýzy bola znížená z pôvodných 40 min na 20 min. Rovnako bolo optimalizované dávkovanie veľkých objemov, čím sa dosiahla lepšia medza detekcie analytov. Denná kapacita extrakcie sa zvýšila z pôvodných 6 na 15 vzoriek a úspora rozpúšťadla dosiahla 65 ml na jednu vzorku. Optimalizáciou teplotného programu plynového chromatografu sa zvýšila denná kapacita analýz na dvojnásobok. Spolu ide o významnú úsporu času, energie a materiálu.

Na zvládnutie zvyšujúceho sa počtu vzoriek a nových odberných miest bol v roku 2019 zakúpený plynový chromatograf TRACE 1310 spojený s hmotnostným spektro-

metrom ISQ 7000 od výrobcu Thermo Scientific. Rovnako je vybavený automatickým dávkovačom vzoriek (auto-samplerom) a analýza prebieha za rovnakých podmienok ako na prístroji firmy Agilent.

### Modelovanie koncentrácií benzo(a)pyrénu

Matematické modelovanie sa používa na odhad priestorového a/alebo časového rozloženia koncentrácií BaP v ovzduší. Druh použitého modelu či metódy závisí od účelu, na ktorý boli výsledky modelovania určené.

V nasledujúcom texte uvidíme prehľad výstupov niekoľkých modelov, používaných na SHMÚ:

- celoplošné hodnotenie podľa požiadaviek legislatívy, ktoré sa od roku 2020 spracováva interpolačným modelom RIO v kombinácii s IDW-R,
- modelovanie s vysokým priestorovým rozlíšením pomocou modelu CALPUFF pre Programy na zlepšenie kvality ovzdušia v zónach a aglomeráciách,
- modelovanie s využitím neurónových sietí na odhad koncentrácií v miestach monitorovacích staníc pre dni bez meraní.

### Celoplošné hodnotenie kvality ovzdušia - model RIO

Model RIO (Janssen a kol., 2008) je pokročilý interpolačno-regresný model. Vstupmi sú priemerné koncentrácie namerané na monitorovacích staniciach a rôzne pomocné priestorové polia („drivery“), ktoré majú súvislosť s priestorovým rozložením danej znečisťujúcej látky - ako napríklad nadmorská výška, intenzita dopravy, ventilačný index, emisie z lokálneho vykurovania domácností. Súbor týchto tzv. driverov je špecifický pre konkrétnu znečisťujúcu látku. Ako priestorový driver môžu slúžiť aj výsledky modelov, napr. aj modelu CMAQ (Buyn a kol., 1999), družicové pozorovania atď. Podrobnejší popis modelu RIO a jeho výstupov pre rok 2021 je v ďalšom článku (Beňo a kol., 2022).

### Modelovanie s vysokým rozlíšením – CALPUFF

Na tento účel sa na SHMÚ využíva lagrangeovský disperzný model CALPUFF (Scire a kol., 2000b). Model simuluje emisie znečisťujúcich látok ako sériu „puffov“ vychádzajúcich zo zdroja, pričom v každom kroku počíta ich rozptyl a premiestnenie podľa poľa vetra. Príspevky od všetkých „puffov“ sa spočítajú v bodoch pravidelnej mriežky aj vo vybraných receptorových bodoch.

Meteorologické vstupy pre CALPUFF sú generované diagnostickým meteorologickým modelom CALMET (Scire a kol., 2000a), ktorý pripraví meteorologické parametre (smer a rýchlosť vetra, výška premiešavania, atď.) vo vertikálnom profile s požadovaným priestorovým rozlíšením (obvykle niekoľko 100 m) s hodinovým časovým krokom. Vstupmi pre CALMET môžu byť údaje z meteorologického modelu, merania na meteorologickej stanici alebo ich kombinácia.

Emisnými vstupmi sú emisné toky z rôznych typov zdrojov, parametre spalín a miest vypúšťania. Údaje o prie-

myselných zdrojoch sú z databázy NEIS<sup>4</sup>, vykurovanie domácností z modelu REM\_v2 (Krajčovičová a kol., 2019), emisie z cestnej dopravy môžu byť vypočítané na základe intenzít dopravy a emisných faktorov, alebo z výstupu dopravného modelu. Hodnoty regionálneho pozadia, ktoré v tomto prípade zahŕňa príspevky všetkých zdrojov mimo modelovej domény, môžu byť použité z výstupu modelu RIO, alebo z merania na regionálnej požadovej stanici.

### Neurónové siete

Neurónové siete sa stali široko používaným nástrojom v mnohých aplikáciách v oblasti znečistenia ovzdušia a meteorológie (Caudill, Butler, 1992). Príkladom môžu byť predpovede prízemného ozónu, CO alebo SO<sub>2</sub> (Yi, Prybutok, 1996; Božnar a kol., 1993; Moseholm a kol., 1996). Prehľadný článok Gardnera, Dorling (1998) popisuje širokú škálu aplikácií neurónových sietí hlavne v oblasti predpovedania znečistenia ovzdušia a klasifikácie modelov.

Vzhľadom na rozsah článku a jeho zameranie popíšeme len základné parametre použitého modelovania. Pre modelovanie bol zvolený štandardný viacvrstvový regresor (Multi-layer Perceptron regressor) model optimalizovaný pomocou poklesu gradientu. Model trénuje iteratívne. V každom časovom kroku sa vypočítajú parciálne derivácie stratovej („Loss“) funkcie vzhľadom na parametre modelu a tie sa následne aktualizujú.

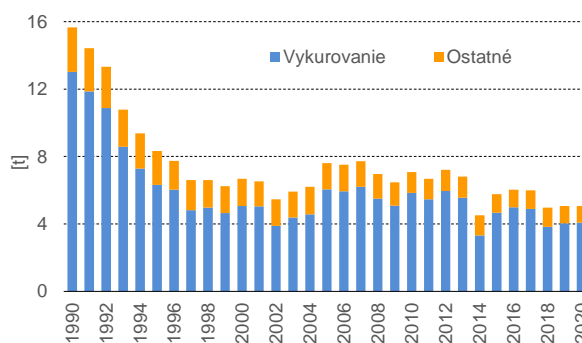
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Inventarizácia emisií

V roku 2020 na Slovensku tvorilo vykurovanie domácností viac ako 80 % celkových emisií BaP (IIR, 2022). Vývoj celkových emisií BaP v tonách na Slovenku v rokoch 1990–2020 je znázornený na Obr. 5. Hoci emisie BaP od 90-tych rokov 20. storočia poklesli, v posledných rokoch nie je trend klesajúci. Najvyššie emisie BaP na GJ vyrobenej energie spôsobuje spaľovanie hnedého uhlia a nevysušené dreva (Hopan a Horák, 2014) v starších druhoch vykurovacích zariadení (Obr. 6).

### Obrázok 5. Vývoj emisií BaP a podielu vykurovania domácností na celkových emisiách BaP v SR.

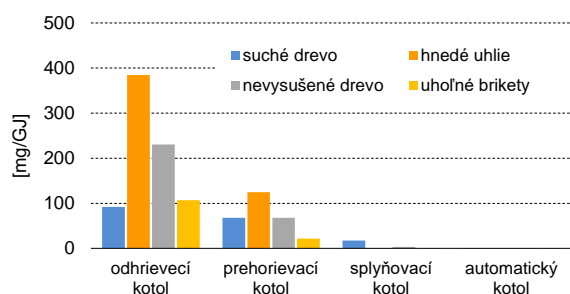
Figure 5. BaP emissions in 1990–2020 and the share of household heating in total BaP emissions in Slovakia.



<sup>4</sup> Národný emisný inventarizačný systém, <http://www.air.sk/neis.php>

**Obrázok 6. Porovnanie emisných faktorov pre rôzne kombinácie paliva a spaľovacieho zariadenia pri nominálnom výkone.**

Figure 6. Comparison of emission factors for different combinations of fuels and combustion devices at nominal heat output.



### Analýza nameraných údajov

Od začiatku meraní BaP v SR sa každý rok vyskytujú prekročenia cieľovej hodnoty pre priemernú ročnú koncentráciu BaP na viacerých monitorovacích staniciach. Na Obr. 7 uvádzame pre ilustráciu priemerné ročné koncentrácie BaP podľa meraní od roku 2017. Zobrazené sú iba tie hodnoty, pre ktoré bol v danom roku na danej stanici dostatočný zákonom požadovaný počet meraní (90 % platných údajov).

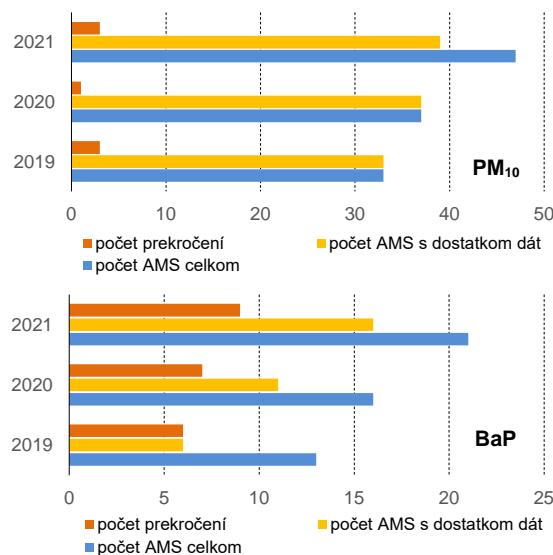
Podiel počtu staníc, ktoré cieľovú hodnotu pre BaP prekračujú, je vyšší než podiel počtu staníc, ktoré prekračujú limitnú hodnotu pre PM<sub>10</sub>. Cieľová hodnota pre BaP bola v roku 2021 prekročená na viac než 56 % hodnotených staníc (9 z 16 staníc s dostatkom platných údajov), limitná hodnota pre PM<sub>10</sub> bola v roku 2021 prekročená na 3 z 38 staníc (8 % monitorovacích staníc ktoré mali v roku 2021 dostatok platných meraní) (Obr. 8).

Bližší pohľad na výsledky meraní svedčí o sezónnom charaktere znečistenia ovzdušia benzo(a)pyrénom, s maximom obvykle v priebehu decembra, januára a februára (Obr. 9 a 10), čo poukazuje s vysokou pravdepodobnosťou na zdroje súvisiace s vykurovaním. Obr. 9 zobrazuje vysoké koncentrácie BaP, ktoré sú merané na priemyselnej stanici vo Veľkej Ide celoročne v porovnaní so sezónnym profilom na mestskej/predmestskej stanici v Ružomberku a Jelšave. Obr. 10 ilustruje vysoké koncentrácie BaP merané na nových monitorovacích staniciach v Oščadnici, Plášťovciach, Púchove a v Žarnovici, koncentrácie namerané na novej dopravnej monitorovacej stanici v Bratislave na Púchovskej ulici dosahovali oproti nim značne nižšie hodnoty.

Na Obr. 11 – 13 sú znázornené koncentrácie pre vybrané polycyklické aromatické uhľovodíky počas jednotlivých mesiacov roku 2021 na vybraných monitorovacích staniciach (dopravná stanica v Banskej Bystrici na Štefánikovom nábreží, priemyselná stanica vo Veľkej Ide a predmestská poľažová v Jelšave).

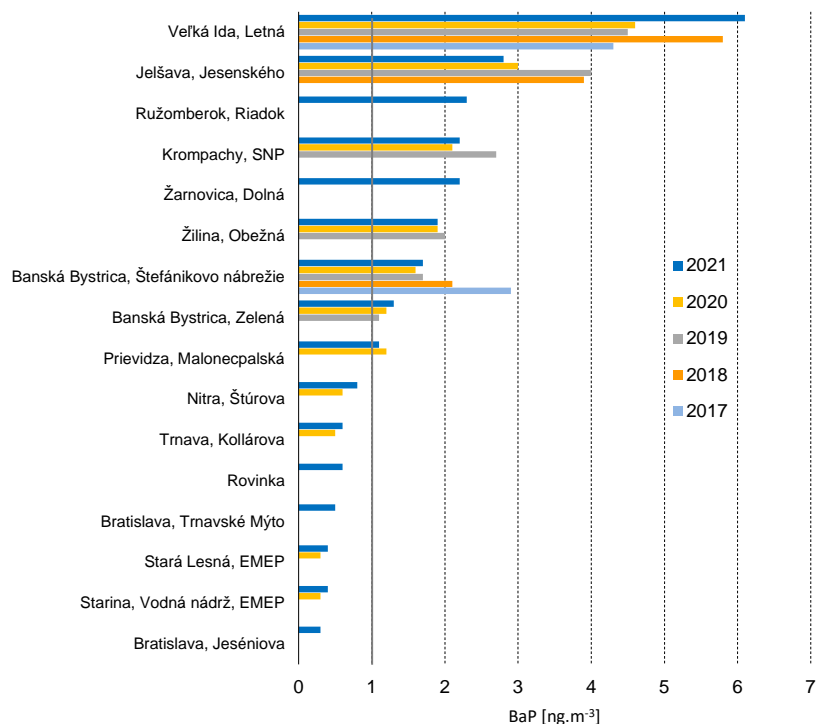
**Obrázok 8. Porovnanie počtu staníc s prekročením limitnej hodnoty pre PM<sub>10</sub> a cieľovej hodnoty pre BaP v SR.**

Figure 8. Comparison of the number of stations exceeding the limit value for PM<sub>10</sub> and the target value for BaP in Slovakia.



**Obrázok 7. Priemerné ročné koncentrácie BaP namerané v rokoch 2017 – 2021.**

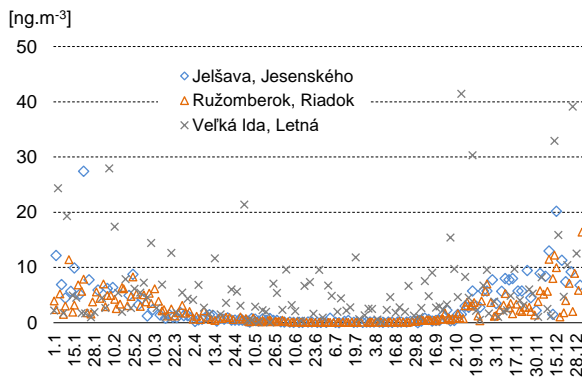
Figure 7. Mean annual BaP concentrations measured in 2017–2021.



Poznámka: V grafe sú len tie hodnoty, pre ktoré bolo v danom roku a stanici dostatok meraní, (90 % platných dát pri odbere vzorky aspoň každý tretí deň), preto na Obr. 7 nie sú zatiaľ nové stanice, ktoré začali merať v priebehu roku 2021.

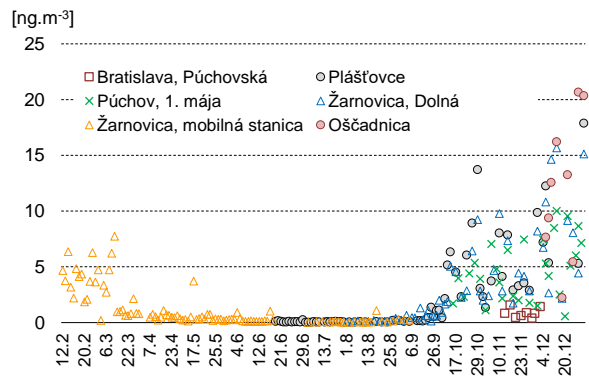
**Obrázok 9. Koncentrácie BaP namerané na vybraných 3 staniaciach s najvyššími hodnotami v roku 2021.**

Figure 9. BaP concentrations measured at 3 selected stations with the highest values in 2021.



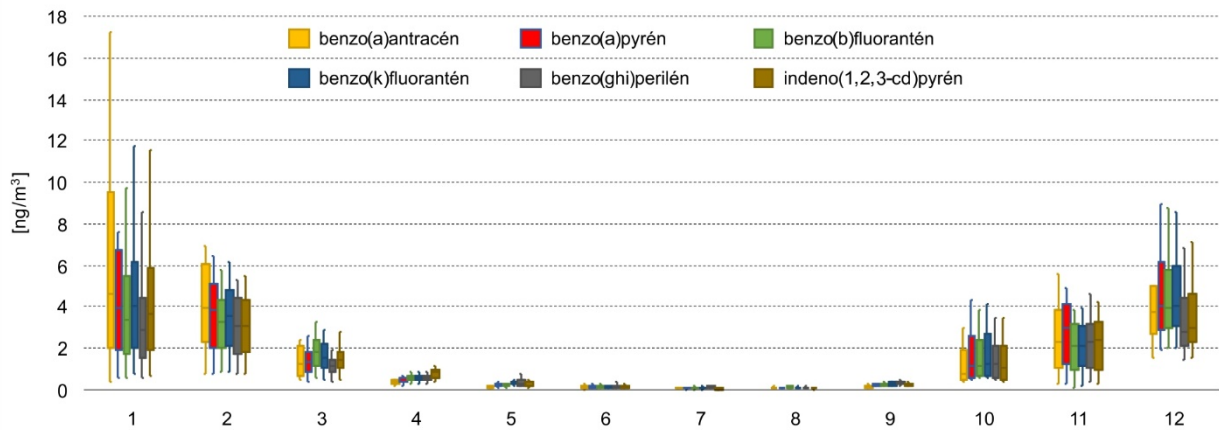
**Obrázok 10. Koncentrácie BaP namerané na nových monitorovacích staniaciach v roku 2021.**

Figure 10. BaP concentrations measured at new monitoring stations in 2021.



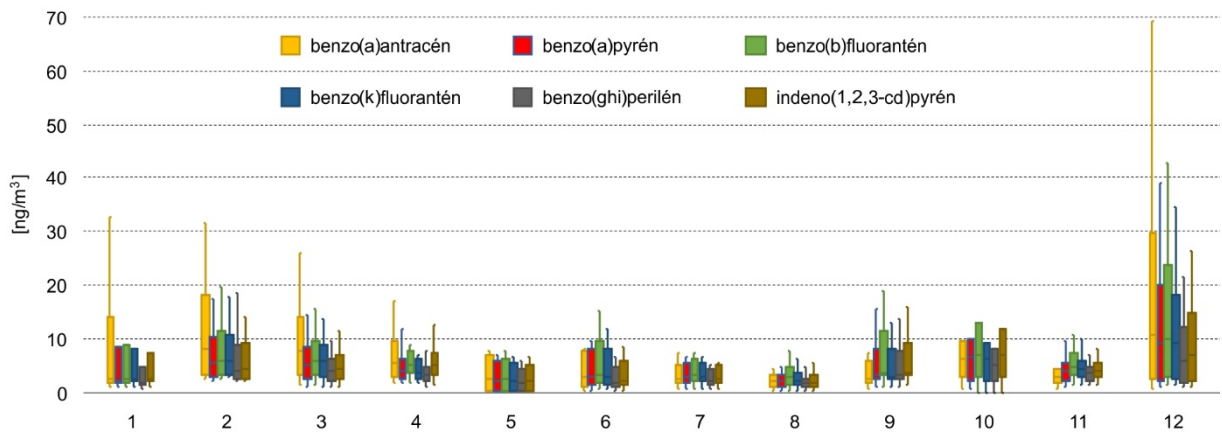
**Obrázok 11. Priebeh mesačných koncentrácií vybraných polycyklických aromatických uhľovodíkov v roku 2021 na monitorovacej stanici Banská Bystrica, Štefánikovo nábrežie.**

Figure 11. Monthly concentrations of selected polycyclic aromatic hydrocarbons in 2021 at Banská Bystrica, Štefánikovo nábrežie monitoring station (traffic monitoring station).



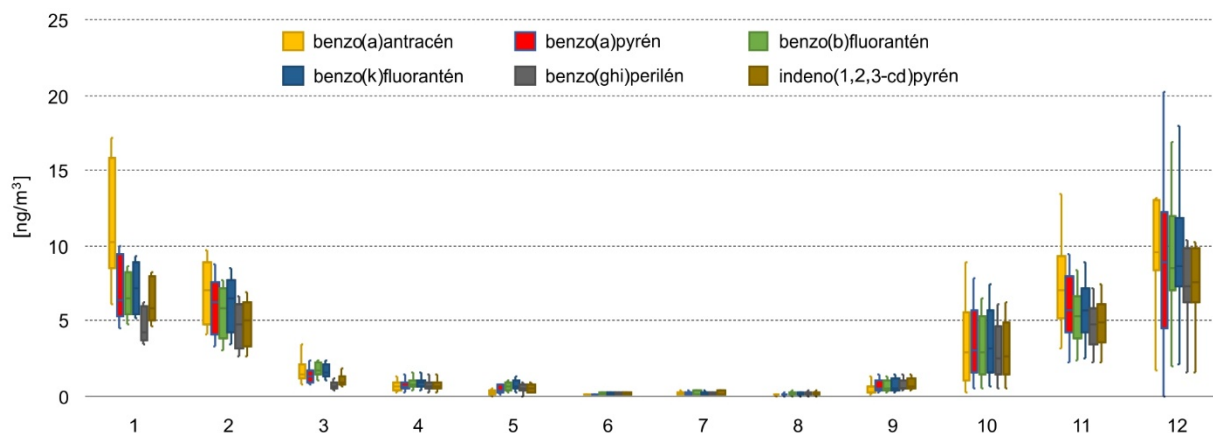
**Obrázok 12. Priebeh mesačných koncentrácií vybraných polycyklických aromatických uhľovodíkov v roku 2021 na monitorovacej stanici Veľká Ida na Letnej ulici (priemyselná stanica).**

Figure 12. Monthly concentrations of selected polycyclic aromatic hydrocarbons in 2021 at Veľká Ida monitoring station (industrial monitoring station).



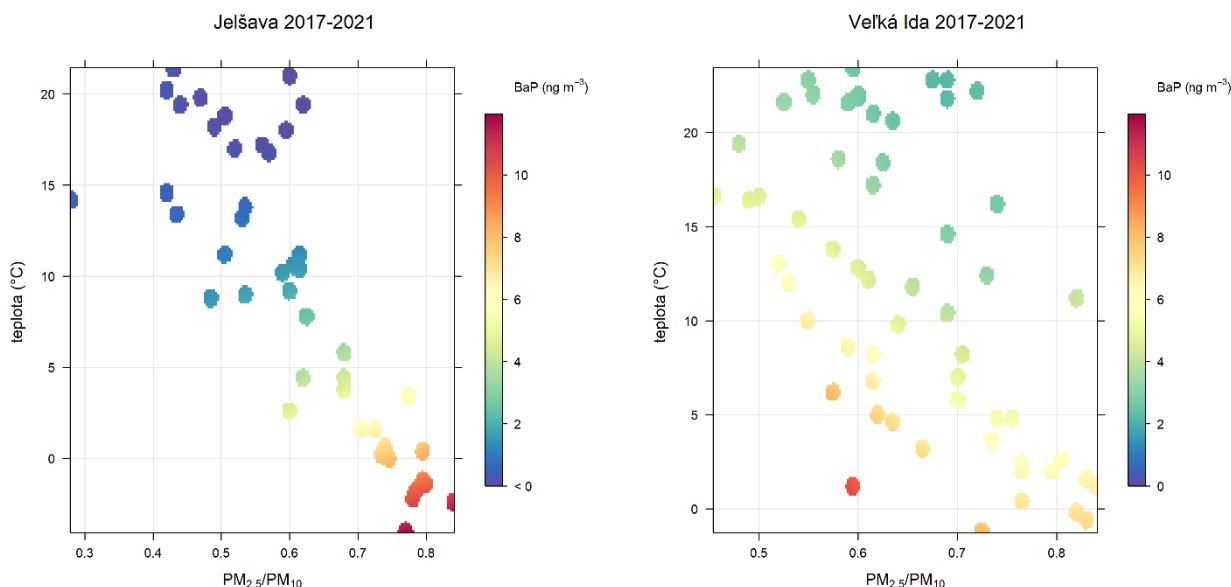
**Obrázok 13. Priebeh mesačných koncentrácií vybraných polycyklických aromatických uhl'ovodíkov v roku 2021 na monitorovacej stanici v Jelšave (predmestská pozad'ová stanica).**

Figure 13. Monthly concentrations of selected polycyclic aromatic hydrocarbons in 2021 at Jelšava monitoring station (suburban background monitoring station).



**Obrázok 14. Mesačné mediány koncentrácie BaP v závislosti od pomeru  $PM_{2.5}/PM_{10}$  a teploty v Jelšave a vo Veľkej Ide.**

Figure 14. Monthly median BaP. Scatter plot shows the dependence of BaP concentrations on the  $PM_{2.5}/PM_{10}$  and temperature according to measurements in Jelšava and Veľká Ida.



Obr. 14 ilustruje odlišný charakter znečistenia vo Veľkej ide a Jelšave. Jelšava ako lokalita ovplyvnená najmä vykurovaním domácností, má najvyššie namerané koncentrácie BaP pri nízkych teplotách, ktoré si vyžadujú vykurovanie, pritom hodnota pomeru  $PM_{2.5}/PM_{10}$  je vysoká, čo tiež naznačuje vyšší podiel spaľovacích procesov a tvorbu sadzí. Vo Veľkej Ide, naopak, sa vyššie koncentrácie BaP vyskytujú aj pri vyššej teplote a nižšom podiele  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , ktorý môže charakterizovať priemyselné procesy, ako je výroba koksu. Poznamenajme, že zobrazené sú mediány z koncentrácií nameraných priebehu mesiaca, maximálne denné hodnoty dosahovali v roku 2021 v Jelšave  $27 \text{ ng/m}^3$  a vo Veľkej ide  $41 \text{ ng/m}^3$  (Obr. 9).

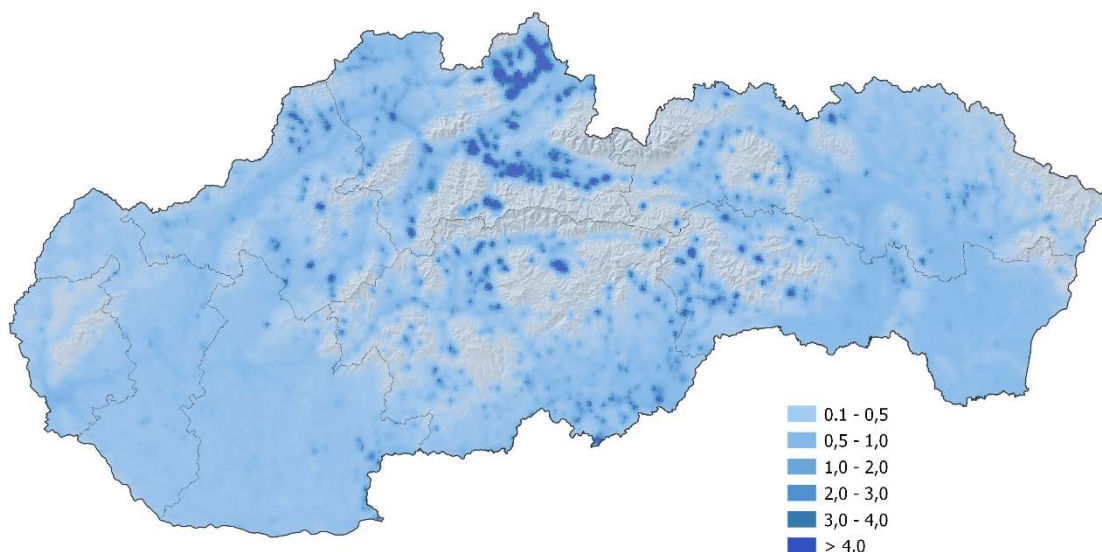
### Modelovanie koncentrácií benzo(a)pyrénu

#### Celoplošné hodnotenie kvality ovzdušia - model RIO

Priestorové rozdelenie koncentrácií BaP vypočítané modelom RIO je na Obr. 15. Ako priestorový driver boli použité výstupy modelu AtmoStreet (Hooyberghs a kol., 2022) pre BaP a  $PM_{2.5}$ . Priestorové rozlíšenie je  $1 \times 1 \text{ km}$ , pri interpretácii výsledkov je preto potrebné mať na mysli nielen neistotu, ktorá plynie z nízkeho počtu monitorovacích staníc, ale aj „zhladenie“ poľa koncentrácií, ktoré je dané priestorovým rozlíšením. Lokálne hot-spots môžu byť preto podhodnotené a BaP v okolí relatívne čistejších miest naopak, nadhodnotený. Podľa výsledkov modelu RIO

**Obrázok 15. Priestorové rozloženie BaP v r. 2021 – výstup modelu RIO v kombinácii s IDW-R.**

Figure 15. Spatial distribution of BaP in 2021 – output of RIO model, adjusted by IDW-R.



v kombinácii s IDW – R sú najvyššie koncentrácie BaP na Orave, Liptove, Above a Gemeri, najmä v oblastiach s vysokým podielom vykurovania domácností tuhým palivom v kombinácii s nepriaznivými rozptylovými podmienkami v zimných mesiacoch. Po zahrnutí meraní zo staníc, ktoré začali monitorovať v roku 2021 a ešte nemajú dostatočný počet údajov, sa pravdepodobne neistota takto vytvorenej mapy o trochu zníži.

#### Modelovanie s vysokým rozlíšením – CALPUFF

Príklad modelovania priestorového rozloženia priemerných ročných koncentrácií BaP vo výpočtovej doméne Jelšava v roku 2017 vypočítaného modelom CALPUFF je na Obr. 16. Ukazuje dominantný podiel lokálnych kúrenísk na celkových koncentráciách BaP (Obr. 17). Príspevok cestnej dopravy a priemyselného zdroja (výroba magnezitu) k celkovým koncentráciám BaP je zanedbateľný. Podrobnejšie informácie možno nájsť napr. v Programe na zlepšenie kvality ovzdušia v zóne Banskobystrický kraj (Krajčovičová a kol., 2021).

#### Neurónové siete

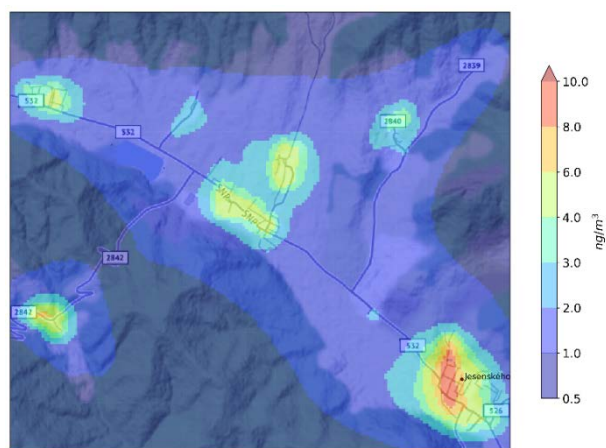
Veľmi dôležitým faktorom pri neurónových sieťach je výber príznakov („features“) pre model, teda setu dát na ktorých sa môže model trénovať. V tomto prípade boli použité meteorologické dáta z modelu ALADIN s rozlíšením 4,5 km (Simon a kol., 2000) a výsledky merania iných znečisťujúcich látok dostupných na každej stanici.

Na Obr. 18 môžeme vidieť prehľad vybraných parametrov a ich korelačný koeficient s nameraným BaP pre jednotlivé stanice. Zobrazených je sedem parametrov, z ktorých päť s najvyššou koreláciou bolo použitých v modeli.

Vzhľadom na dostupnosť dát (modelových aj meraných) prebiehal tréning neurónových sietí na staniách s dostatočným počtom údajov v čase od marca 2017 do konca 2020. Predikcia použitá aj ako test výkonnosti modelu vychádzala z dát pre rok 2021.

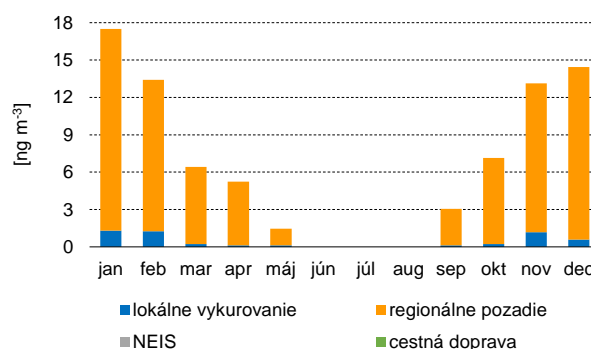
**Obrázok 16. Celkové priemerné ročné koncentrácie BaP v Jelšave (Krajčovičová, 2021).**

Figure 16. Mean annual concentrations of BaP in Jelšava (Krajčovičová, 2021).



**Obrázok 17. Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám BaP v mieste monitorovacej stanice v Jelšave.**

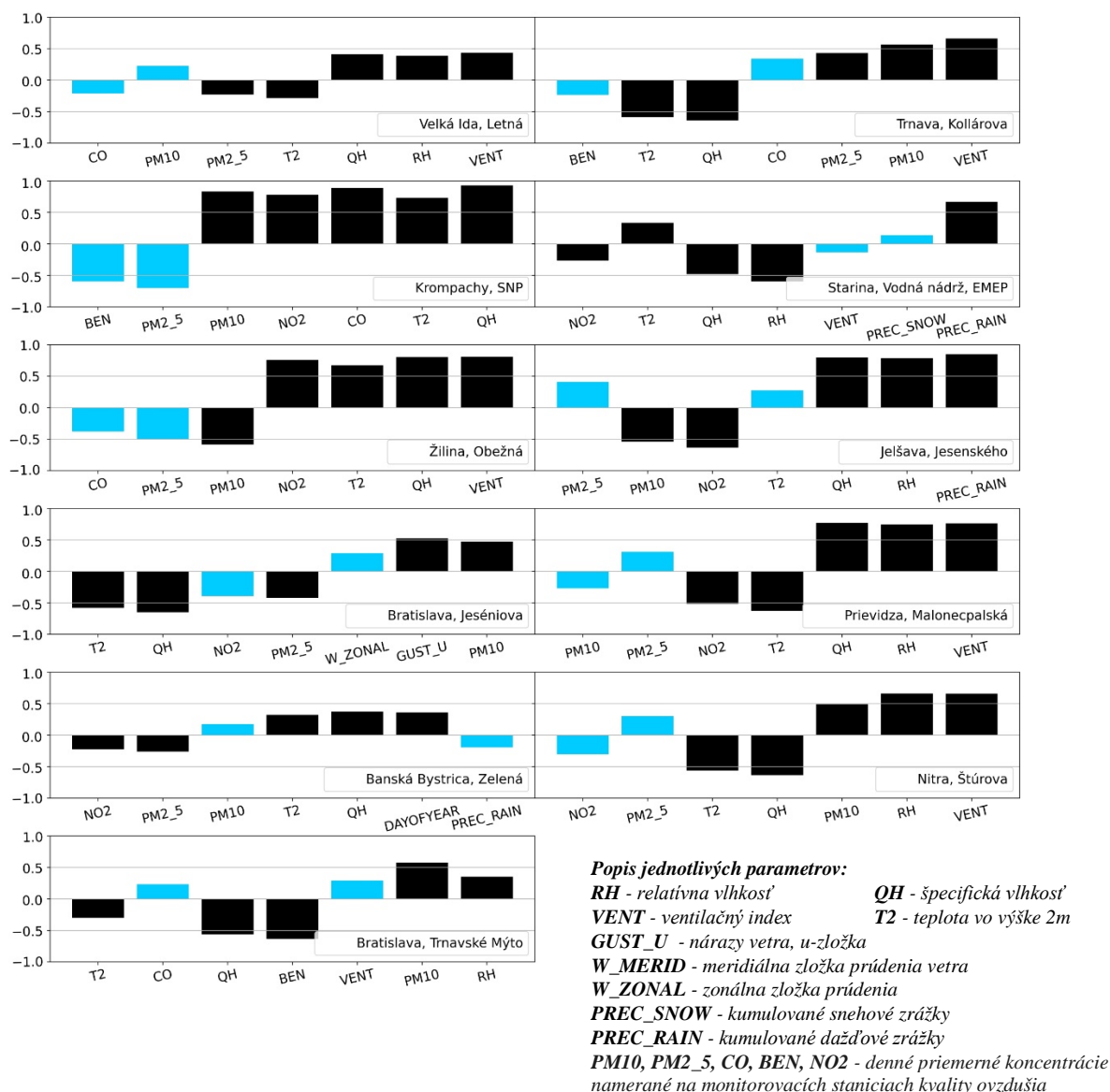
Figure 17. Contributions of different emission source groups to BaP monthly means concentrations at the monitoring station in Jelšava.





**Obrázok 18. Grafy korelačných koeficientov pre parametre z ALADIN modelu a meraných koncentrácií znečisťujúcich látok na danej stanici. Päť najvyšších (čierna) bolo vybraných do neurónových sietí ako príznaky.**

*Figure 18. Correlation coefficients for parameters from the ALADIN model and measured pollutant concentrations at different stations. The top five (black) were selected into neural networks as features.*



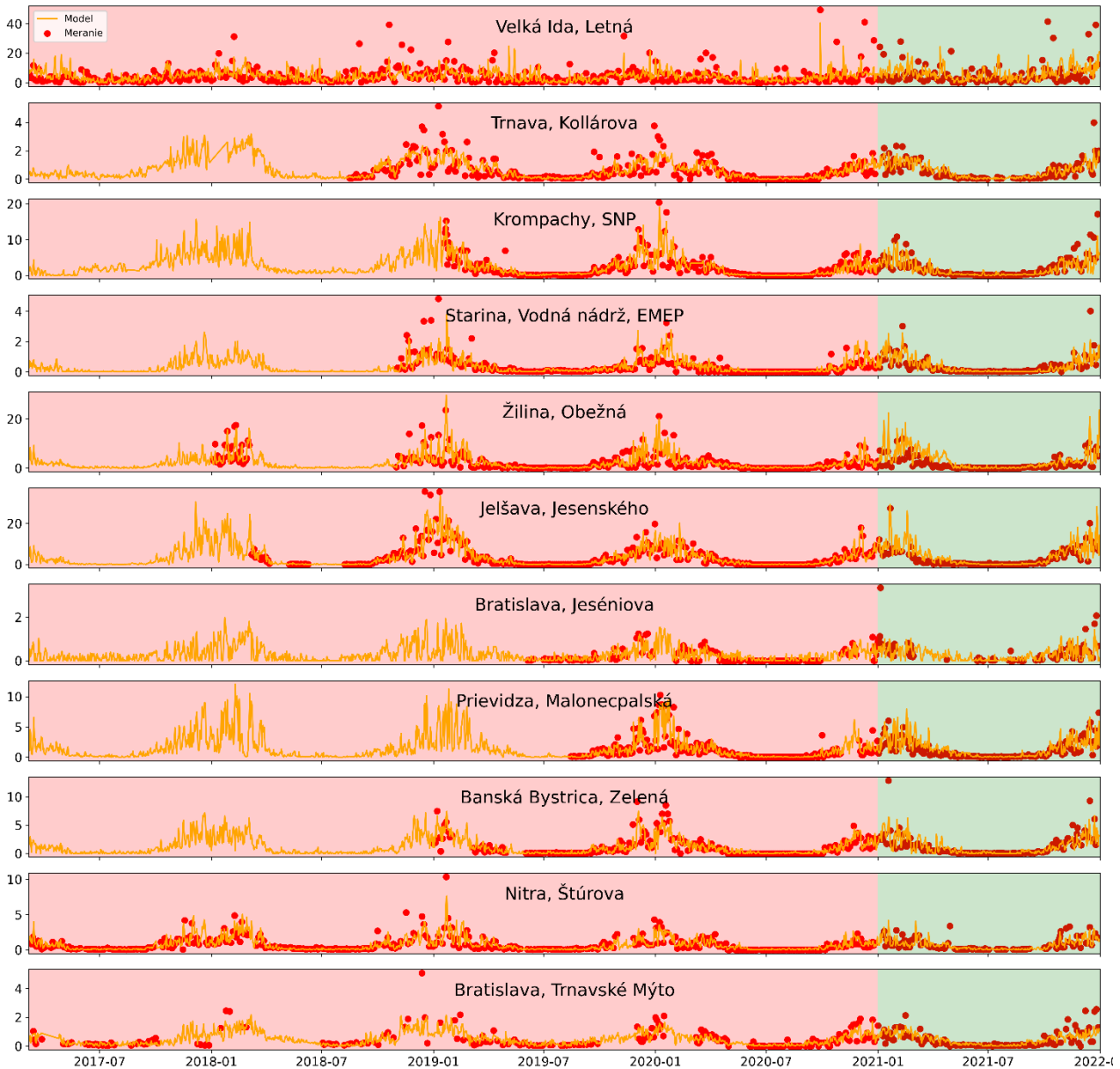
**Tabuľka 1. Základné štatistické parametre pre výpočet BaP modelmi neurónových sietí pre všetky stanice.**

*Table 1. Basic statistical parameters of neural network models for all stations.*

| Názov stanice              | Typ    |         | Tréning        |      |       |          |       | Predikcia      |      |       |          |       |
|----------------------------|--------|---------|----------------|------|-------|----------|-------|----------------|------|-------|----------|-------|
|                            | Oblasť | Stanice | R <sup>2</sup> | RMSE | BIAS  | N_BIAS % | POČET | R <sup>2</sup> | RMSE | BIAS  | N_BIAS % | POČET |
| Velká Ida, Letná           | S      | I       | 0,50           | 4,12 | 0,03  | 0,59     | 604   | 0,23           | 6,61 | -0,23 | -3,63    | 121   |
| Trnava, Kollárova          | U      | T       | 0,57           | 0,52 | -0,02 | -2,74    | 352   | 0,83           | 0,29 | -0,01 | -1,43    | 119   |
| Kropachy                   | U      | T       | 0,93           | 0,88 | 0,04  | 1,48     | 312   | 0,87           | 1,29 | 0,46  | 26,39    | 120   |
| Starina, Vodná nádrž       | R      | B       | 0,61           | 0,33 | -0,01 | -3,99    | 368   | 0,75           | 0,29 | -0,03 | -7,39    | 120   |
| Žilina, Obežná             | U      | B       | 0,83           | 1,45 | -0,06 | -2,37    | 394   | 0,73           | 2,33 | -1,25 | -40,44   | 124   |
| Jelšava, Jesenského        | U      | B       | 0,86           | 1,66 | 0,00  | 0,11     | 491   | 0,85           | 1,85 | -0,71 | -20,70   | 130   |
| Bratislava, Jeseniňová     | S      | B       | 0,52           | 0,18 | -0,04 | -20,40   | 215   | 0,37           | 0,37 | 0,05  | 18,19    | 107   |
| Prievidza, Malonecpalská   | U      | B       | 0,93           | 0,44 | -0,01 | -0,98    | 321   | 0,62           | 1,5  | -0,36 | -24,11   | 184   |
| Banská Bystrica, Zelená    | U      | B       | 0,83           | 0,67 | -0,02 | -1,91    | 549   | 0,65           | 1,11 | -0,06 | -4,64    | 116   |
| Nitra, Janíkovce           | U      | B       | 0,81           | 0,56 | 0,02  | 2,30     | 501   | 0,60           | 0,52 | -0,02 | -3,06    | 123   |
| Bratislava - Trnavské Mýto | U      | T       | 0,53           | 0,39 | -0,02 | -3,50    | 273   | 0,52           | 0,39 | -0,03 | -6,08    | 116   |

**Obrázok 19.** Porovnanie nameraných koncentrácií BaP [ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ] s výpočtami pomocou modelov neurónových sietí. Oranžová krivka predstavuje výsledky modelu pre celé obdobie, pričom časť s červeným pozadím označuje merané dáta zahrnuté do tréningu modelu a zelené pozadie označuje predikciu.

Figure 19. Comparison of measured BaP concentrations [ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ] with those computed using neural network models. The orange curve represents the model results for the entire period, while the part of the graph with red background indicates the measured data selected for the model training and green background indicates the predictions.



Ako sa dalo očakávať, model si pre rôzne stanice „vybral“ rôzne sady príznakov, čo je nielen odrazom rozdielnych podmienok – rozmiestnenie dominantných zdrojov (vykurovanie domácností, cestná doprava, priemysel) a miery „problematickosti“ lokality z hľadiska vplyvu meteorologických podmienok, ale aj odrazom dostupnosti/ nedostupnosti údajov pre rôzne stanice v dôsledku ich rozdielneho monitorovacieho programu.

Výkonnosť modelov je zobrazená graficky na Obr. 19 a v prehľadovej tabuľke Tab. 1. Tréningové obdobie je vyznačené červeným pozadím a predikcia modelu zeleným. Na vyhodnotenie výkonnosti boli vybrané štatistické

parametre  $R^2$  - druhá mocnina korelačného koeficientu, RMSE - stredná kvadratická odchýlka a BIAS - chyba modelu (rozdiel medzi predpovedanou a nameranou hodnotou) a  $N\_BIAS$  - relatívna chyba modelu.

Pri pokuse o zhodnotenie úspešnosti modelov vytvorených pomocou neurónových sietí pre jednotlivé monitorovacie stanice by sme mohli uviesť niekoľko poznámok:

Napriek tomu, že v sade nameraných dát sa vyskytujú odľahlé hodnoty a v období, ktoré bolo použité na tréning modelov, boli pre viaceré stanice výpadky v meraní, hodnoty koeficientu determinácie  $R^2$  pre 5 staníc z 11 sú vyššie než 0,7, čo je povzbudivé. Použitie PM ako príznaku

mohlo zhoršiť výsledky v roku 2021, kedy sa vyskytlo niekoľko epizód diaľkového prenosu prachu zo suchých oblastí (vyššie PM, ale nie BaP). Najťažšie je predpovedateľná situácia vo Veľkej Ide ( $R^2$  v predikcii je 0,2), kde sa okrem vykurovania domácností značnou mierou prejavuje aj výroba koksu. Pokiaľ ide o výber príznakov, závislosť od teploty kvôli stúpajúcim nárokom na vykurovanie pri klesajúcej teplote, „funguje“ iba vo vykurovacej sezóne, v budúcnosti by bolo preto možné skúsiť použiť namiesto teploty rozdiel medzi teplotou vykurovania a priemernou dennou teplotou.

## ZÁVER

V článku sme zhrnuli dostupné informácie o emisiách, monitoringu a modelovaní BaP na území Slovenska a prezentovali prvé výsledky odhadu koncentrácií BaP pomocou neurónových sietí.

Hoci počet staníc s meraním BaP vzrástol v poslednom roku o viac ako 20%, pokrytie členitého územia Slovenska meraním je veľmi obtiažne a z technických aj finančných dôvodov v skutočnosti nerealizovateľné. Skúsenosti z hodnotenia výsledkov meraní BaP v Českej republike aj z mobilného monitoringu na území Slovenska pritom nasvedčujú tomu, že k problémovým miestam s vysokými hodnotami BaP budú pravdepodobne patriť ďalšie lokality – najmä miesta s vysokým podielom tuhých palív na vykurovaní domácností a s nepriaznivými rozptylovými podmienkami v zimných mesiacoch, pričom sa dá očakávať, že pri energetickej kríze sa situácia pravdepodobne ešte zhorší. Prijímanie opatrení na zlepšenie tejto situácie je komplikované, keďže emisie z vykurovanie domácností tvoria viac než 80% celkových emisií BaP v SR.

Spomenuli sme rôzne možnosti využitia matematického modelovania BaP. Uviedli sme výsledky celoplošného modelovania modelom RIO a uviedli sme obmedzenia, ktoré je potrebné mať na mysli pri ich interpretácii (rozlíšenie modelu 1 x 1 km, obmedzený počet monitorovacích staníc).

Ukázali sme príklady využitia matematického modelovania s vysokým rozlíšením na odhad podielu rôznych zdrojov na celkových koncentráciách BaP, ako boli použité pri príprave podkladov pre Programy na zlepšenie kvality ovzdušia. Na spresnenie týchto výsledkov bude potrebné zlepšiť kvalitu vstupov pre výpočet priestorového rozloženia emisií z vykurovania domácností, aspoň pokiaľ ide o použité palivo a lokálne zastúpenie rôznych vykurovacích zariadení. Dôležité sú aj údaje o zateplení domov a bytov.

Modely vytvorené pomocou neurónových sietí sme po prvý krát využili na odhad koncentrácií BaP pre dni bez meraní, čo je cenné zaplnenie medzier v údajoch, ktoré plynú z prirodzených limitov pre odber a analýzu vzoriek. Koeficient determinácie  $R^2$  bol v intervale v 0,2 do 0,9, lepšie výsledky dosahoval model pre dopravné stanice a stanice v lokalitách ovplyvnených vykurovaním. Použitím dlhšieho tréningového obdobia a úpravou sady príznakov je možné úspešnosť modelov ďalej zlepšovať.

## LITERATÚRA

- Beňo, J.–Matejovičová, J.–Štefánik, D.–Krajčovičová, J. *Interpolačno-regresný model RIO - vybrané výsledky modelovania pre rok 2022. Meteorologický časopis, Ročník 25, číslo 2, ISSN 1335-339X.*
- Byun, D.W.–Ching, J.K.S., 1999, *SCIENCE ALGORITHMS OF THE EPA MODELS- 3 COMMUNITY MULTISCALE AIR QUALITY (CMAQ) MODELING SYSTEM. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-99/030 (NTIS PB2000- 100561).*
- Boström, C.-E.–Gerde, P.–Hanberg, A.–Jernström, B.–Johansson, C.–Kyrklund, T.–Rannug, A.–Törnqvist, M.–Victorin, K.–Westerholm, R., *Cancer risk assessment, indicators and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Environ. Health Perspect. 2002, 110, 451–489.*
- Božnar, M.–Lesjak, M.–Mlakar, P., 1993, *A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO<sub>2</sub> concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain. Atmospheric Environ., B 27(2), 221–230.*
- Caudill, M.–Butler, C., 1992, *Understanding Neural Networks: Computer Explorations (Cambridge: MIT Press).*
- EEA, 2022, *Europe's air quality status 2022, https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022/europes-air-quality-status-2022 (posledný prístup 17.10.2022).*
- EPA, *Toxicological Review of Benzo[a]pyrene [CASRN 50-32-8], Supplemental information. EPA/635/R-17/003Fa, 2017.*
- Gardner, M.W.–Dorling, S.R., 1998, *Artificial neural networks (the multilayer perceptron)- a review of applications in the atmospheric sciences. Atmospheric Environment 32 (14/15), 2627–2636.*
- Gusev, A.–Mantseva, L.–Shatalov, V.–Strukov, B., *Regional Multicompartment Model MSCE-POP; EMEP/MSCE Technical Report 5/2005; Meteorological Synthesizing Centre-East: Moscow, Russia, 2005.*
- Hooyberghs, H.–Craemer, S.–Lefebvre, W.–Vranckx, S.–Maiheu, B.–Trimpeneers, E.–Vanpoucke, Ch., Janssen, S., Meysman, F.–Fierens, F., 2022, *Validation and optimization of the ATMO-Street air quality model chain by means of a large-scale citizen-science dataset. Atmospheric Environment. 272. 118946. 10.1016/j.atmosenv.2022.118946.*
- Hopan, F.–Horák, J., 2014, *Zpráva č. 34/14 Výpočet emisních faktorů znečišťujících látek pro léta 2001 až 2012 a tři varianty pro rok 2022 na základě experimentálních a statistických dat. s.l.*
- WHO, 2021, *Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants: report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289056533 (posledný prístup 18.10.2022).*
- Hůnová, I., *Ambient Air Quality in the Czech Republic: Past and Present. Atmosphere 2020, 11, 214. https://doi.org/10.3390/atmos11020214*
- Hůnová, I.–Kurfürst, P.–Vlasáková, L.–Schreiberová, M.–Škáchová, H., *Atmospheric Deposition of Benzo[a]pyrene: Developing a Spatial Pattern at a National Scale. Atmosphere 2022, 13, 955. https://10.3390/atmos13050712, (posledný prístup 17.10.2022).*

- CHMI. Tabeľární přehled. 2021. [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2021\\_enh/pdf/MaximaH-RAP.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2021_enh/pdf/MaximaH-RAP.pdf) (posledný přístup 18.10.2022).
- IIR, 2022, The Slovak Hydrometeorological Institute, Informative inventory report (online) <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2022-submission> (posledný přístup 17.10.2022).
- Janssen, S.–Dumont, G.–Fierens, F.–Mensink, C., 2008, Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. *Atmos. Environ.* 42, 4884–4903. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.02.043.
- Krajčovičová, J.–Matejovičová, J.–Nemeček, V., 2020, High-resolution residential emission model for use in the air quality modelling. *Meteorologický časopis, Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X*, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný přístup 17.10.2022.
- Krajčovičová, J.–Štefánik, D.–Nemeček, V.–Beňa, J.–Matejovičová, J., Podklady pre Program na zlepšenie kvality ovzdušia. Zóna Banskobystrický kraj. Verzia 4. SHMÚ, 11/2021. [https://www.shmu.sk/File/oko/studie\\_analyzy/ZonaBB-cele-v9a.pdf](https://www.shmu.sk/File/oko/studie_analyzy/ZonaBB-cele-v9a.pdf) (posledný přístup 18.10.2022).
- Moseholm, L.–Silva, J.–Larson, T., 1996, Forecasting carbon monoxide concentrations near a sheltered intersection using video traffic surveillance and neural networks. *Transport Research ID (1)*, 15–28.
- Scire, J.S.–Robe, F.R.–Fernau, M.E.–Yamartino, R.J., A User's Guide for the CALMET Meteorological Model. Earth Tech, Inc., Concord, MA (2000a).
- Scire, J.S.–Strimaitis, D.G.–Yamartino, R.J., A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model, Earth Tech, Inc. Concord, MA. (2000b).
- SHMÚ, 2022, Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike 2021, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=997>, posledný přístup 17.10.2022.
- Schreiberová, M.–Vlasáková, L.–Vlček, O.–Šmejdiřová, J.–Horálek, J.–Bieser, J., Benzo[a]pyrene in the Ambient Air in the Czech Republic: Emission Sources, Current and Long-Term Monitoring Analysis and Human Exposure. *Atmosphere* 2020, 11, 955. <https://doi.org/10.3390/atmos11090955>, (posledný přístup 17.10.2022).
- Simon, A. et. all, 2020, Numerical simulations of 7 June 7, 2020 convective precipitation over Slovakia using deterministic, probabilistic, and convection-permitting approaches, *IDÓJÁRAS - OMSZ angol nyelvű folyóirat* Vol. 125, No. 2, Pages 167–336, April - June 2021.
- Yi, J.–Prybutok, R., 1996, A neural network model forecasting for prediction of daily maximum ozone concentration in an industrialised urban area. *Environmental Pollution* 92 (3), 349–357.

# SATELITNÉ MERANIA SLNEČNÉHO ŽIARENIA DOPADAJÚCEHO NA ZEMSKÝ POVRCH A ICH VYUŽITIE PRI HODNOTENÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTICKÝCH ELEKTRÁRNÍ

PETER KAŇÁK<sup>1</sup>, ĽUBOSLAV OKON<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833,15 Bratislava

*The amount of solar energy coming from the Sun through the atmosphere to the Earth's surface depends on many astronomical and meteorological factors. Using satellite measurements, we obtain continuous information about the state and processes in the atmosphere for the entire globe, based on which we can use physical and mathematical calculations to determine the intensity of solar energy falling on any point on the earth's surface. The aim of our work was to map the average intensity of solar energy incident on the territory of Slovakia, and to point out the monthly and annual variability of incident solar radiation to different localities using satellite data. Secondly, we compared the average values of solar radiation falling on the earth's surface measured using satellites and conventional meteorological devices for measuring solar radiation intensity, pyranometers, for selected SHMÚ meteorological stations, purposefully distributed to cover the largest possible territory of Slovakia. The last step was to compare the output of the photovoltaic power plant with the measured satellite data and to evaluate numerically its efficiency. The work presents maps of average monthly values of solar radiation for the period 2012–2021, as well as monthly anomalies from the 10-year average. From the comparison of satellite data with pyranometers as reference measurements, we obtained a high agreement, especially for meteorological stations located in lowland areas. Significant deviations in mountainous areas are related to the orography of the terrain, the frequent occurrence of snow cover in winter and the occurrence of convective clouds in summer. The average efficiency of a photovoltaic power plant for the examined years 2020 and 2021 was 14.7%. The efficiency in the summer months was a few percent lower than in winter. Theoretically, we also determined the highest possible efficiency of the power plant at 19.4% in case the photovoltaic panels were rotated perpendicular to the sun's rays, and we explained why such a scheme of photovoltaic panel installation is not used in practice.*

*Množstvo slnečnej energie prichádzajúcej zo Slnka cez atmosféru na zemský povrch závisí od mnohých astronomických a meteorologických faktorov. Pomocou satelitných meraní získavame kontinuálne informácie o stave a procesoch v atmosfére pre celú zemeguľu, na základe ktorých môžeme pomocou fyzikálno-matematických výpočtov určiť intenzitu energie dopadajúcej na ktorýkoľvek bod na zemskom povrchu. Cieľom našej práce bolo zmapovanie priemernej intenzity slnečnej energie dopadajúcej na územie Slovenska, a poukázanie na mesačné a ročné variability dopadajúceho slnečného žiarenia na rôzne lokality použitím satelitných údajov. V ďalšom kroku sme porovnávali priemerné hodnoty slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch namerané pomocou satelitov a klasických meteorologických zariadení na meranie intenzity slnečného žiarenia, pyranometrov, pre vybrané meteorologické stanice SHMÚ, účelovo rozmiestnené tak, aby sme pokryli čo najväčšie územie Slovenska. Posledným krokom bolo porovnanie výkonu fotovoltickej elektrárne s nameranými satelitnými údajmi a číselné zhodnotenie jej účinnosti. V práci sú prezentované mapy priemerných mesačných hodnôt slnečného žiarenia za obdobie rokov 2012–2021, ako aj mesačné odchýlky (anomálie) od 10-ročného priemeru. Z porovnania satelitných dát s pyranometrami ako referenčnými meraniami sme dostali vysokú zhodu, najmä pre meteorologické stanice umiestnené v nížinatých oblastiach. Výraznejšie odchýlky v hornatých oblastiach súvisia so sklonom a členitosťou terénu, s častým výskytom snehovej pokrývky v zime a výskytom konvektívnej oblačnosti v lete. Priemerná účinnosť fotovoltickej elektrárne pre skúmané roky 2020 a 2021 bola na úrovni 14,7%. Pritom účinnosť v letných mesiacoch bola o pár percent nižšia ako v zime. Teoreticky sme tiež stanovili možnú optimálnu účinnosť elektrárne na 19,4% pre prípad, že by boli fotovoltické panely natáčané kolmo na slnečné lúče a zdôvodnili sme, prečo sa v praxi takéto schéma inštalácie fotovoltických panelov nepoužíva.*

**Key words:** singularity satellite measurements, solar radiation, solar equipment

## ÚVOD

Fosílna palivá vznikali v priebehu miliónov rokov rozkladom organických zvyškov rastlín a živočíchov pod zemským povrchom. Palivá ako uhlie, ropa či zemný plyn boli primárnymi zdrojmi energie od začiatku priemyselnej revolúcie koncom 18. storočia. Energia z týchto zdrojov je získavaná ich spaľovaním. To spôsobuje znečisťovanie nášho životného prostredia na lokálnej, ale aj globálnej úrovni a ich spaľovanie je zároveň považované za jeden

z najvýznamnejších antropogénnych faktorov klimatickej zmeny. Preto je prechod na obnoviteľné zdroje energie nie len nevyhnutný pre znižujúce sa zásoby fosílnych palív, ale môže byť aj prínosný po ekonomickej stránke vďaka rozvíjaniu nových odvetví, či vďaka fyzikálnym rozdielom limitujúcim účinnosti spaľovacích a elektrických zariadení. Na plynulý prechod k obnoviteľným zdrojom energie je však potrebný vedecký výskum a neustále zlepšovanie technológií na výrobu tejto energie ako aj na jej uskladnenie.

Slnčná energia je vo svojej podstate hnacím motorom všetkých prírodných dejov, z ktorých by sme mohli čerpať energiu udržateľne. Pohyb vzduchových hmôt využívaný pri veternej energetike, je spôsobený rôznymi teplotnými a tlakovými gradientmi, ktoré sú následkom nerovnomerného ohrievania zemského povrchu slnečnou energiou. Potenciálna energia vodných mäs, ktorá pri zmene na kinetickú energiu roztáča turbíny vo vodných elektrárnach je dôsledkom prirodzeného kolobehu vody v prírode, ktorého hnacou silou je opäť slnečná energia.

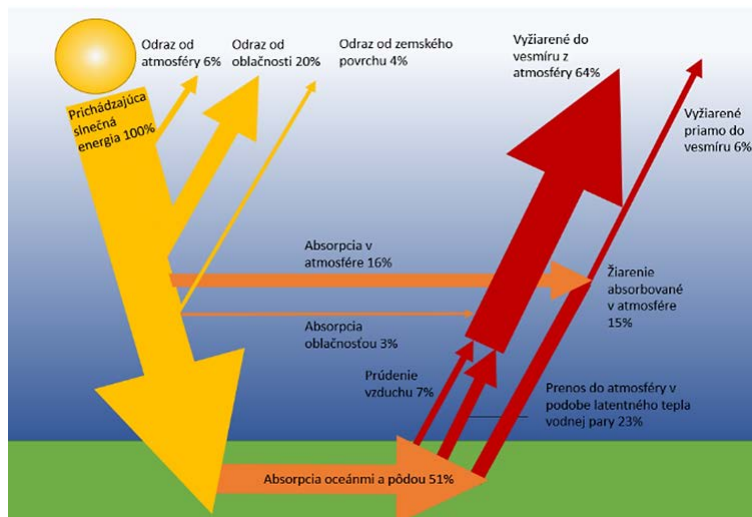
Merania slnečného žiarenia tak pre nás môžu byť veľmi užitočným nástrojom pri plánovaní budúcich zariadení na konverziu všetkých typov spomenutých energií na elektrickú energiu, ako aj pri odhadovaní účinnosti týchto zariadení. Prvým a najjednoduchším spôsobom na určovanie slnečného žiarenia v danej lokalite je použitie meteorologických zariadení ako napríklad heliograf či pyranometer (Tkáč a Hvizdoš, 2011). Tieto zariadenia merajú dĺžku slnečného svitu, respektíve jeho intenzitu s veľkou presnosťou, avšak len pre konkrétnu lokalitu. V prípade, že sú potrebné údaje o väčšej časti územia, je vhodné použiť satelitné merania. Tie sú v súčasnosti schopné merať okrem mnohých iných fyzikálnych veličín aj intenzitu slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch kdekoľvek na Zemi.

## SLNEČNÉ ŽIARENIE

Slnčné žiarenie je elektromagnetické žiarenie, vznikajúce procesmi termonukleárnej fúzie na Slnku, a následne je vyžiarené do všetkých smerov. Toto žiarenie má vlnové dĺžky v rozmedzí od 280 nm po 3 000 nm [1]. Spektrálny diagram Slnka zodpovedá spektrálnemu diagramu vyžarovania absolútne čierneho telesa o teplote 5250 °C. Najintenzívnejšie je slnečné žiarenie vo viditeľnom spektre, teda od 350 nm do 750 nm. Ultrafialové žiarenie v rozmedzí vlnových dĺžok 280 nm až 380 nm je pre človeka neviditeľné a tvorí asi 2 % slnečného spektra. Štyridsaťdeväť percent solárneho spektra tvorí viditeľné svetlo s vlnovými dĺžkami 380 nm až 780 nm.

**Obrázok 1. Radiačná bilancia Zeme, zdroj (Caprion et al.).**

Figure 1. Radiation balance of Earth, source (Caprion et al.).



Kolmo na hornú hranicu atmosféry našej planéty dopadá žiarenie s výkonom 1363 W/m<sup>2</sup> (Dewitte et al., 2022). Túto hodnotu nazývame solárna konštanta a bola určená pomocou satelitných meraní pre strednú vzdialenosť Zeme od Slnka. Výsledné žiarenie dopadajúce na povrch Zeme je však omnoho menšie. Šesť percent zo slnečného žiarenia je odrazených späť do vesmíru od atmosféry, 20 % je odrazených od oblačnosti a 4 % od zemského povrchu. Šestnásť percent celkového dopadajúceho žiarenia je absorbovaných atmosférou, ďalšie 3 % oblačnosťou a 51 % je absorbovaných oceánmi, alebo zemským povrchom (Caprion et al.). Zemské albedo popisujúce mieru odrazivosti slnečného žiarenia od našej planéty je na úrovni 30 %.

Presná hodnota dopadajúceho slnečného žiarenia na zemský povrch závisí od mnohých faktorov. Najpredvídateľnejšiu časť zmien v insolácii tvoria astronomické faktory súvisiace s obhom Zeme okolo Slnka. Obežná dráha Zeme okolo Slnka je excentrická elipsa, čo znamená, že najbližšie k Slnku sa nachádzame na začiatku januára a najďalej od Slnka sa nachádzame začiatkom júla. Okrem vzdialenosti od našej hviezdy je dopadajúce žiarenie na zemský povrch ovplyvnené aj jedenásťročným slnečným cyklom, závisiacim od slnečnej aktivity, náklonom rotačnej osi Zeme, a taktiež súradnicami danej lokality na Zemi, najmä zemepisnou šírkou, ale aj nadmorskou výškou. Spomedzi meteorologických faktorov patria medzi najvýznamnejšie faktory oblačnosť a zakalenie atmosféry.

## SATELITNÉ MERANIA

Slnčné žiarenie dopadajúce na zemský povrch je významným faktorom ovplyvňujúcim počasie a aj klímu, teda dlhodobý vývoj počasia a rovnako významným faktorom je slnečné žiarenie aj ako zdroj obnoviteľnej energie. Vo všeobecnosti sú známe tri spôsoby, ktorými vieme určiť jeho intenzitu: pozemné merania (pyranometre), numerické modelovanie a satelitné merania. Každý z týchto spôsobov má svoje výhody i nedostatky (Huang et al., 2019).

Pozemné meteorologické merania sú najspoľahlivejšou a najjednoduchšou cestou ako získať informácie o trvaní a intenzite slnečného žiarenia. Ich nedostatkom však je, že udávajú len hodnoty špecifické pre lokalitu merania, a teda sú nevhodné na popis slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch na rozľahlejších územiach, alebo na vzdialených miestach s nedostatkom meracích staníc, ako sú napríklad oceány (Huang et al., 2019).

Numerické modely všeobecnej cirkulácie, na rozdiel od pozemných meraní, dokážu reprodukovat' priebeh slnečného žiarenia v priestore aj v čase na regionálnej ako aj globálnej úrovni. Ich najväčšou devízou je kompletnosť a konzistentnosť údajov, čo je obzvlášť významné v klimatológii. Nevýhodou numerických modelov je simulácia a predpoveď výskytu oblačnosti (Huang et al., 2019).

Schopnosť určiť priestorové rozloženie oblačnosti a jeho dynamický vývoj je hlavnou prednosťou satelitných meraní pri určovaní dopadajúceho slnečného žiarenia na zemský povrch. Práve tejto svojej schopnosti vďaka satelitným meraniam za to, že sú podľa niektorých štúdií považované za spoľahlivejšiu možnosť určovania slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch ako numerické modely. Na základe štúdií z minulého desaťročia vieme povedať, že neistoty satelitných meraní sú v súčasnosti na úrovni neistôt pozemných (Huang et al., 2019).

Históriu satelitných meraní môžeme rozdeliť do troch vývojových etáp: od roku 1960 do roku 1980, od 1980 do 2000 a od roku 2000 až po súčasnosť. V prvej fáze bolo hlavným cieľom satelitných meraní odhadnúť energetickú bilanciu Zeme. TIROS-1 (Television Infrared Observation Satellite) je považovaný za prvý úspešný satelit slúžiaci na monitoring počasia. V roku 1964 sa výskumnej skupine pod vedením Sigmunda Fritza podarilo uskutočniť satelitné merania slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch, ktorých korelácia s pozemskými meraniami dosahovala 90 %. V druhej etape, medzi rokmi 1980–2000, došlo k rýchlemu vývoju v kvalite meraní zemskej insolácie vďaka rôznym medzinárodným spoluprácam v tejto oblasti a vďaka veľkému počtu nových algoritmov používaných pre presnejší výpočet intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch. Po roku 2000 rýchlosť vývoja v oblasti satelitných meraní mierne klesla, avšak aj v tejto fáze sa merania stále spresňujú vďaka kvalitnejším senzorom či novým algoritmom (Huang et al., 2019). V Európe sú to merania satelitmi MSG (Meteosat Second Generation), nad americkými kontinentmi sú to satelity GOES a na východnej pologuli satelity HIMAWARI.

Pri meraniach slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch Zeme sú najdôležitejšími prvkami v atmosfére tri komponenty: ozón, vodná para a aerosóly. To však platí len za predpokladu, že je bezoblačná obloha. Ozón a vodná para absorbujú slnečné žiarenie rôznych vlnových dĺžok, čo znamená, že ich výskyt môže byť presne určený na základe ostrých hraníc ich absorpčných spektier. Preto sa na odhad slnečného žiarenia používa zväčša produkt tých kanálov, ktoré monitorujú práve tieto súčasti atmosféry (Huang et al., 2019)

V dnešnej dobe sú satelitné produkty udávajúce slnečné žiarenie dopadajúce na povrch s rozlíšením niekoľkých kilometrov stále vzácnosťou. Takéto produkty sú predovšetkým vyrábané pre špecifické oblasti s veľkou hustotou zaľudnenia, ako je Európa, Severná Amerika, alebo Čína.

Vo všeobecnosti väčšina algoritmov používaných na výpočet insolácie nadhodnocuje slnečné žiarenie nad oblasťami bez snehovej pokrývky, a naopak podhodnocuje slnečné žiarenie nad regiónmi pokrytými snehom. To je zapríčinené podobnými optickými vlastnosťami oblačnosti a snehovej pokrývky. Zatiaľ čo rozlíšenie snehu a oblačnosti je technicky možné, problémy nastávajú pri presnom určení výšky oblačnosti (Huang et al., 2019).

Najväčšou výhodou, ale zároveň aj výzvou pre satelitné merania slnečného žiarenia je oblačnosť. Jedným problémom spôsobeným oblačnosťou je jej priestorová premenlivosť, ktorá sa pohybuje v stovkách až desiatkach

metrov, zatiaľ čo rozlíšenie satelitnej snímky je v kilometroch. Druhým problémom je určenie zloženia oblačnosti. Zmiešaná oblačnosť, teda taká oblačnosť, v ktorej sa nachádzajú aj ľadové kryštáliky aj vodné kvapky, nie je v prírode výnimkou. Ľad a voda majú rôzne optické vlastnosti, a preto slabá schopnosť rozlíšiteľnosti týchto dvoch komponentov oblačnosti zapríčiňuje chyby pri odhade žiarenia dopadajúceho na zemský povrch (Huang et al., 2019).

## GEOSTACIONÁRNY SATELIT METEOSAT

Satelit nazývame geostacionárnym v prípade, že obieha po geostacionárnej orbite vo vzdialenosti 36 000 km nad rovníkom v smere zemskej rotácie. Satelit obiehajúci v tejto vzdialenosti obehne okolo Zeme za čas identický s dobou rotácie Zeme, 1 deň, a tak sa vzhľadom na zemský povrch javí ako nehybný.

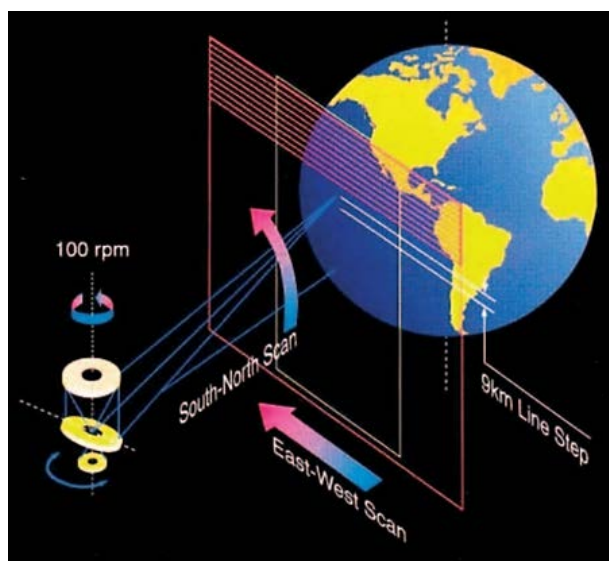
Prvý geostacionárny satelit Meteosat bol vypustený na obežnú dráhu v roku 1977. Prevádzkovateľom družíc Meteosat je organizácia EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), ktorej hlavným cieľom je zabezpečiť stabilný systém meteorologických satelitov sledujúcich predovšetkým Európu a jej blízke okolie. V súčasnosti sa využíva Meteosat druhej generácie (*Meteosat Second Generation - MSG*), tvorený sériou 4 satelitov, z ktorých posledný bol vypustený na orbitu v roku 2015 [2]. Tento satelit s presným označením Meteosat-11 bude využívaný do roku 2033 a jeho aktuálna pozícia je nad priesečníkom rovníka a nultého poludníka vo výške 36 000 km.

## SKENOVACÍ PRÍSTROJ SEVIRI

Skenovací prístroj SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager), je zariadenie zabezpečujúce samotné snímkovanie na satelitoch MSG. Zariadenie SEVIRI pracuje na 12 spektrálnych kanáloch, poskytujúcich kvalitné informácie o stave atmosféry a zemskeho povrchu, ktoré sú následne používané ako vstupné dáta pre obrazové a meteorologické produkty. Osem spektrálnych kanálov sa nachádza v infračervenom spektre. Tieto kanály slúžia na meranie teploty oblačnosti, oceánov a zemskeho povrchu. Skenovací prístroj SEVIRI taktiež meria na vlnových dĺžkach, ktoré zodpovedajú pohlcovaniu infračerveného žiarenia ozónovou vrstvou, vodnou parou či oxidom uhličitým. Tieto kanály sú užitočné na komplexnú trojrozmernú analýzu atmosféry (Aminou, 2002).

Rozsah vlnových dĺžok, na ktorých meria zariadenie SEVIRI žiarenie je 400 nm až 1 600 nm, pre štyri kanály viditeľného a blízkeho infračerveného spektra, a 3,9  $\mu\text{m}$  až 13,4  $\mu\text{m}$ , pre 8 infračervených kanálov. Snímky zostrojené z výšky 36 000 km majú v subsatelitnom bode rozlíšenie 3 x 3 km. Rozlíšenie produktu SSI (Surface Solar Irradiance) nad územím Slovenska je približne 3,5 x 5,5 km. Kompletné zariadenie SEVIRI má hmotnosť 260 kg a jeho ohnisková rovina je chladená na teplotu 85 K v letnom období a 95 K počas zimy na severnej pologuli pre dosiahnutie optimálneho výkonu (Schmid, 2020).

**Obrázok 2. Skenovanie zariadením SEVIRI (Aminou, 2002).**  
*Figure 2. Scanning with the SEVIRI device (Aminou, 2002).*



Všetky prístroje na satelitoch sú pravidelne každý rok kontrolované a prípadne je vykonaná ich dekontaminácia. Cieľom dekontaminácie je odstránenie ľadu a rôznych iných nečistôt zo studených častí optických zariadení. Skondenzované nečistoty na optických častiach zariadenia SEVIRI ovplyvňujú jeho radiometrický výkon a spôsobujú odklon od pôvodných kalibračných rovníc a algoritmov. Kontaminujúce častice sa v priebehu času presúvajú na chladnejšie časti prístroja kde dochádza ku kondenzácii. To sa najčastejšie stáva na začiatku pobytu satelitu na zemskej orbite, kedy sa pri vstupe satelitu do vákua začína uvoľňovať vlhkosť. Preto frekvencia procesu dekontaminácie je vyššia na začiatku pobytu satelitu vo vesmíre a nižšia až nulová ku koncu jeho pobytu na orbite. Samotný proces dekontaminácie spočíva v zahriatí zariadenia na vyššiu teplotu, čo spôsobí, že sa skondenzované častice odparia do vesmíru. Tento úkon sa spravidla vykonáva po zimnom slnovrate, kedy slnečný príkon pomáha ohrievať chladné časti družice [3].

## PRINCÍP MERANIA

Žiarenie zachytávané zariadením je nasmerované pomocou teleskopu do ohniska detektorov. Nasleduje separácia rôznych vlnových dĺžok dopadajúceho žiarenia, ku ktorej dochádza v ohniskovej rovine. Prípadné priame slnečné žiarenie musí byť odtienené tienidlom, aby nedošlo k ovplyvneniu výsledkov merania. Skenovací prístroj SEVIRI rotuje okolo svojej vlastnej osi rýchlosťou 100 otáčok za minútu, pričom pri každej otáčke naskenuje 9 km široký pás plochy, ktorá je kolmá na spojnicu Zem-satelit. Preto smerom od rovníka k pólom klesá rozlíšenie satelitnej snímky. Pri nasledujúcej otočke je zariadenie posunuté smerom na sever tak, že nasníma ďalší deväť kilometrov široký pás. Zariadenie skenuje jednotlivé pásy v smere z východu na západ a postupuje z juhu na sever. Vyhotovenie jednej takejto snímky celého zemského disku, teda privrátenej strany

Zeme k družici, trvá približne 12 minút, a preto interval snímkovania zariadením SEVIRI bol nastavený na 15 minút (Schmid, 2020).

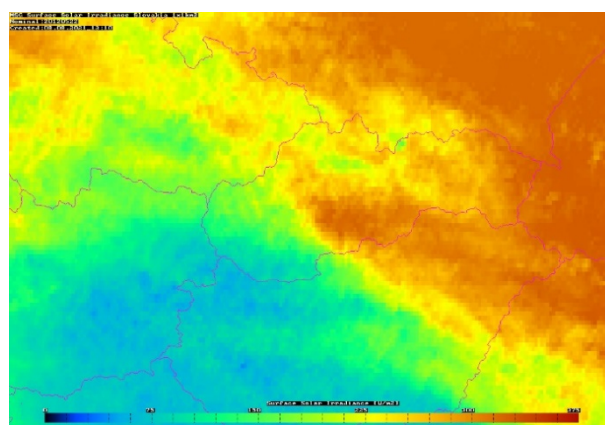
## VYHODNOTENIE DLHODOBÝCH PRIEMEROV

Hlavným cieľom našej práce bolo zmapovanie intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch Slovenska pomocou satelitných údajov. Docielili sme to spracovaním satelitných dát za desať rokov (2012–2021) pomocou softvérového vybavenia určeného na prácu so satelitnými produktmi série družíc MSG, ktoré je vytvárané na SHMÚ už od roku 2002 a zároveň, pomocou nových programov napísaných v programovacom jazyku C, ktoré boli špeciálne vytvorené za účelom našej práce.

Potom ako sme spracovali údaje pre jednotlivé dni, začali sme s vytváraním máp zobrazujúcich dlhodobé priemery globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho na územie Slovenska.

**Obrázok 3. produkt SSI z 22.5.2012.**

*Figure 3. SSI product from 22.5.2012.*



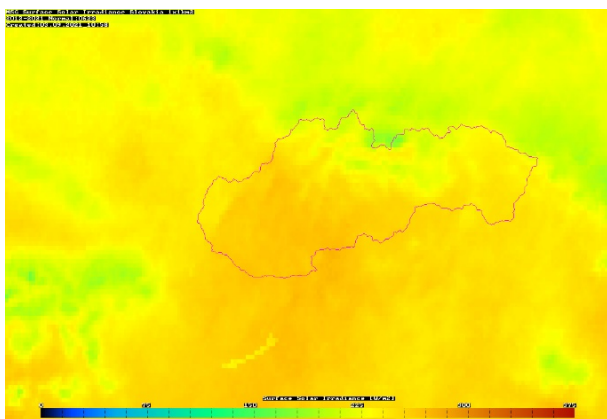
Na Obr. 3 je názorná ukážka spracovanej satelitnej snímky pre 22.05.2012. Stupnica pre túto mapu má rozsah od  $0 \text{ W/m}^2$  (tmavomodrá až čierna) po  $375 \text{ W/m}^2$  (tmavočervená). Na mape je zobrazená priemerná intenzita globálneho slnečného žiarenia, ktorá počas daného dňa dopadla na zemský povrch. Pozorujeme, že jednotlivé oblasti s vysokou a nízkou hodnotou insolácie sú výrazne ohraničené v závislosti od rozloženia oblačnosti v daný deň. Takéto mapy majú svoje využitie, avšak pre hodnotenie z dlhodobého hľadiska, napríklad za účelom určenia vhodnosti danej lokality pre výrobu energie zo slnečných lúčov je ich výpovedná hodnota veľmi malá.

Na Obr. 4 je zobrazený príklad 10-ročného denného priemeru. Stupnica je rovnaká ako v predchádzajúcom prípade  $0-375 \text{ W/m}^2$ . Z tohto obrázka už začíname mať predstavu o dlhodobom rozložení solárnej energie v rámci Slovenska, keďže vznikol spriemerovaním máp znázorňujúcich 23. jún počas desiatich rokov. Na obrázku vidíme, že maximum slnečnej energie dopadá na juhozápadnú časť Slovenska a minimum slnečnej energie v severných hornatejších oblastiach.



**Obrázok 4. 10-ročný priemer pre 23. jún.**

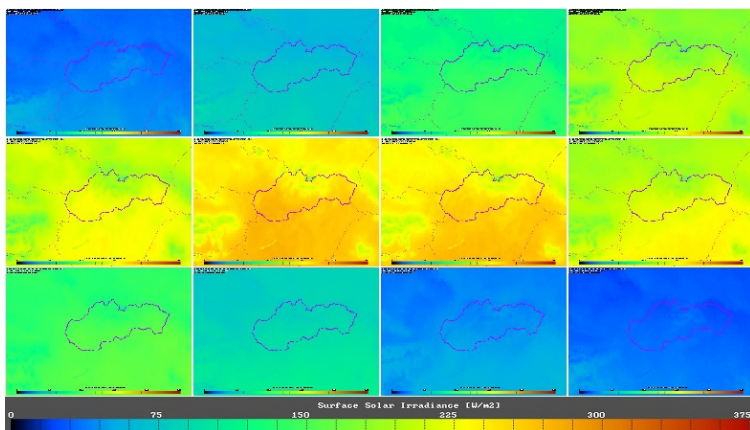
*Figure 4. 10-year average for June 23.*



Naším ďalším krokom bolo vyhotovenie máp zobrazujúcich priemernú intenzitu slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch za celé mesiace. Takéto obrázky už majú vyššiu výpovednú hodnotu z dlhodobého hľadiska, keďže vznikli na základe dát z približne 300 dní (30 dní mesačne počas desiatich rokov). Príkladom takejto mapy je Obr. 5. Vidíme, že na tomto obrázku sú veľmi jemné prechody medzi jednotlivými oblasťami. Rozdiel medzi najosvetlenejšou časťou nášho územia, Podunajskou nížinou, a najmenej osvetlenými Vysokými Tatrami je približne  $30 \text{ W/m}^2$ . To je výrazne menej ako rozdiel približne  $100 \text{ W/m}^2$ , ktorý sme pozorovali na Obr. 4. Je to spôsobené hneď niekoľkými faktormi. Na Obr. 5 je spracované dlhšie časové obdobie, a preto aj rozdiely v rámci územia Slovenska sú menšie. Druhým faktorom je celkovo nižšia intenzita slnečného žiarenia na Obr. 5, kde je zobrazený október v porovnaní s Obr. 4 kde je zobrazený 23. jún, čo spôsobuje, že absolútny rozdiel medzi danými lokalitami je menší na Obr. 5 ako v prípade letných mesiacov kedy je intenzita slnečnej energie dopadajúcej na zemský povrch vyššia. Tretím faktorom spôsobujúcim celistvý vzhľad snímky môžu byť jesenné hmly. Vieme, že hmly sa vyskytujú prevažne v rovinných oblastiach, respektíve údoliach. A práve to sú územia s vyššou slnečnou intenzitou počas letných mesiacov, a preto hmly môžu spôsobovať

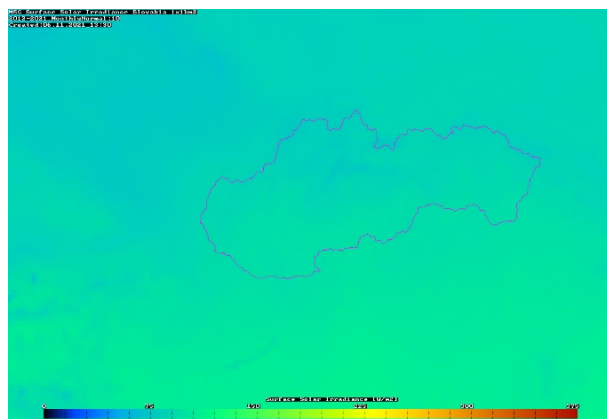
**Obrázok 6. 10-ročné mesačné priemery.**

*Figure 6. 10-year monthly averages.*



**Obrázok 5. 10-ročný priemer pre mesiac október.**

*Figure 5. 10-year average for the month of October.*



zmenšovanie rozdielu medzi hornatými a nížinatými oblasťami.

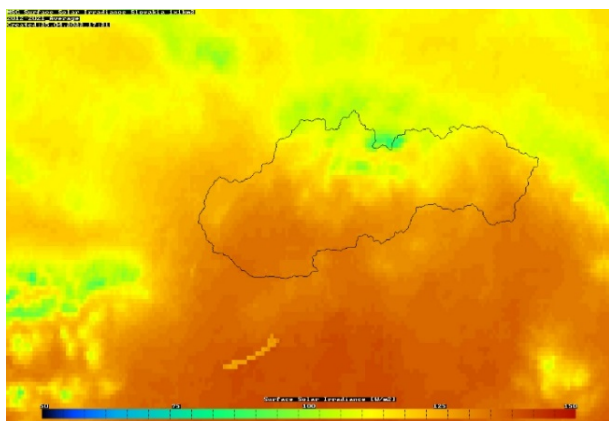
Obr. 6 zobrazuje všetkých dvanásť 10-ročných mesačných priemerov za obdobie 2012–2021. Stupnica je rovnaká ako pri všetkých predchádzajúcich obrázkoch 0– $375 \text{ W/m}^2$ . Mesiace sú zoradené od januára v ľavom hornom rohu až po december v pravom dolnom rohu. Tento obrázok pekne ilustruje ročný chod intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch. Minimum pozorujeme v decembri, kedy sa pohybujeme v okolí hodnoty  $50 \text{ W/m}^2$ .

Rozdiely v rámci územia Slovenska sú takmer zanedbateľné. Maximum je dosahované v júni na juhozápadnom Slovensku, kde sa priemerná slnečná intenzita pre tento mesiac pohybuje nad úrovňou  $300 \text{ W/m}^2$ . V porovnaní so zimnými mesiacmi, v júni pozorujeme výrazné lokálne rozdiely na území Slovenska. Na mape vidíme ľahko rozpoznateľné minimum v oblasti Tatier, ktoré nadobúda hodnotu približne  $170 \text{ W/m}^2$ . Toto výrazné minimum je zapríčinené konvektívnou oblačnosťou tvoriacou sa spravidla nad hornatými oblasťami počas letných mesiacov, hlavne v popoludňajších hodinách, čo má súvis s letným chodom vývoja oblačnosti.

Poslednou mapou popisujúcou dlhodobý priemer intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch je Obr. 7. Na tomto obrázku je celkový desaťročný priemer za roky 2012 až 2021. V tomto prípade je stupnica v rozsahu  $50 \text{ W/m}^2$  až  $150 \text{ W/m}^2$ . Tento obrázok pripomína obrázky znázorňujúce letné mesačné priemery. To je logické pri uvedení si faktu, že intenzita slnečného žiarenia v lete je výrazne vyššia ako v zime, a takisto faktu, že variácie na území Slovenska sú počas zimných mesiacov takmer zanedbateľné. Maximum je opäť dosahované na juhozápade našej krajiny ( $130 \text{ W/m}^2$ ) a minimum je v oblasti Tatier ( $80 \text{ W/m}^2$ ), čo predstavuje len 60 % z globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho na Podunajskú nížinu. To znamená, že v prípade umiestnenia rovnakého fotovoltického panela napríklad v Tatranskej Lomnici, by tento vyrobil len 60 % energie z toho, čo by vyrobil rovnaký panel na Podunajskej nížine.

Obrázok 7. Priemer 2012 – 2021.

Figure 7. Average 2012–2021.



Po vypočítaní dlhodobých priemerov sme pristúpili k určovaniu mesačných anomálií v intenzite dopadajúceho slnečného žiarenia. Obrázky znázorňujúce mesačné anomálie hovoria o tom, aké množstvo slnečnej energie dopadlo na územie Slovenska za daný mesiac v porovnaní s desaťročným priemerom pre daný mesiac.

Na Obr. 8 je mesačná anomália pre apríl roku 2012. Stupnica sa v tomto prípade pohybuje v rozmedzí  $-50 \text{ W/m}^2$  až  $+50 \text{ W/m}^2$ . Vidíme, že apríl 2012 bol veľmi podobný nami určenému desaťročnému normálu za roky 2012–2021. Biele oblasti znázorňujú miesta s rovnakou intenzitou slnečného žiarenia ako udáva dlhodobý priemer, teda odchýlka je  $0 \text{ W/m}^2$ . Na severozápade Slovenska pozorujeme jemné červené sfarbenie naznačujúce mierny prebytok slnečnej energie oproti desaťročnému priemeru, približne  $+20 \text{ W/m}^2$ . Modré miesta na grafe predstavujú oblasti s nižšou intenzitou slnečného žiarenia, pričom najvýraznejšia odchýlka bola na východe nášho územia, kde dosiahla približne  $-20 \text{ W/m}^2$ .

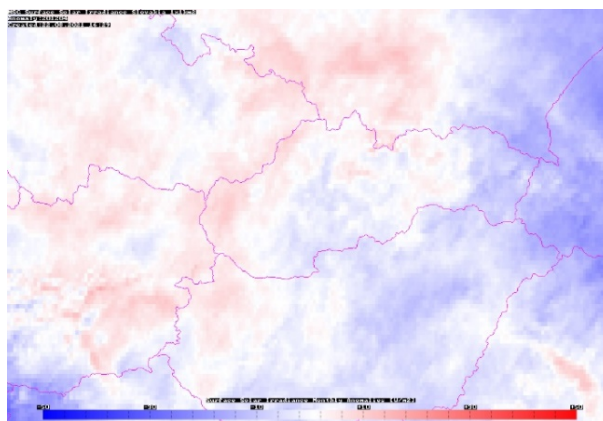
## POROVNANIE S PYRANOMETRAMI

Po vyhodnotení dlhodobých priemerov sme pristúpili k porovnaniu satelitných dát s dátami z pyranometrov. Tieto dáta sme získali z MySQL databázy SHMÚ pre roky 2020 a 2021. Spracovávali sme údaje z automatických meteorologických staníc, pričom našou snahou bolo, aby náš výber staníc čo najlepšie popisoval celé územie Slovenska, a zároveň sme hľadali stanice s kontinuálnymi dátami za skúmané obdobie. Na základe týchto dvoch kritérií sme spracovali dáta z pyranometrov z bratislavského letiska, Hurbanova, Lieseku na Orave, Gánoviec pri Poprade a z Košického letiska.

Na Obr. 9 je príklad takéhoto porovnania pre stanicu Bratislava letisko za rok 2021. Jednotlivé stĺpce v grafe predstavujú priemerné intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch pre dané mesiace určené na základe satelitných meraní (modré), respektíve pyranometrických meraní (oranžové). Plošný,

Obrázok 8. Mesačná anomália: apríl 2012.

Figure 8. Monthly anomaly: April 2012.

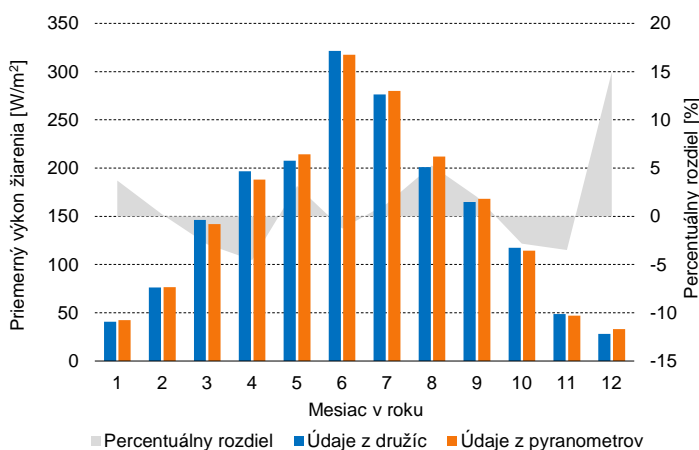


svetlošedý graf zobrazuje percentuálny rozdiel medzi údajmi z jednotlivých zdrojov. Vidíme, že hodnoty z oboch zdrojov sú takmer identické počas celého roka, pričom percentuálny rozdiel sa pohybuje v rozmedzí  $-5\%$  až  $+5\%$ . Výnimkou je december, kedy sa tento rozdiel blíži k hranici  $15\%$ , čo je spôsobené menšou celkovou intenzitou slnečného žiarenia, a teda aj väčšou relatívnou chybou, a zároveň aj skutočnosťou, že v zimných mesiacoch majú satelitné dáta tendenciu podhodnocovať hodnoty slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch, pretože v niektorých prípadoch dochádza k zámene snehovej pokrývky a oblačnosti.

Vo všeobecnosti nadobúdali rozdiely medzi satelitnými a pyranometrickými dátami hodnoty pod  $10\%$ . Väčšie odchýlky sme dostali pre stanice umiestnené v hornatých lokalitách ako napríklad Liesek, či Gánovce. To má za následok skutočnosť, že produkt SSI neuvažuje vo svojich výpočtoch orografické nerovnosti. Ako veľmi spoľahlivé sa satelitné merania ukázali pre rovinné lokality, keďže ako môžeme vidieť na Obr. 9, odchýlky medzi satelitnými a pyranometrickými údajmi tu dosahovali len minimálne rozdiely.

Obrázok 9. Porovnanie satelitných a pyranometrických údajov za jednotlivé mesiace, Bratislava 2021.

Figure 9. Comparison of satellite and pyranometric data for individual months, Bratislava 2021.

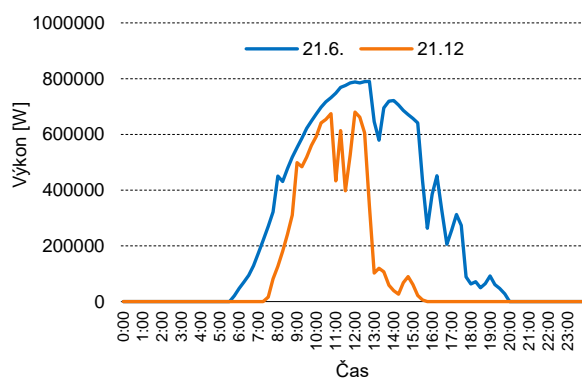


## ÚČINNOSŤ FOTOVOLTIČKEJ ELEKTRÁRNE

Pre porovnanie satelitných údajov o slnečnom žiarení a dát o výkone fotovoltaickej elektrárne sme zvolili elektrárňu umiestnenú na juhu stredného Slovenska neďaleko obce Babinec v nadmorskej výške 415 m n. m. Z tejto fotovoltaickej elektrárne sme získali dáta o výkone pre roky 2020 a 2021 s časovým krokom 15 minút.

Obrázok 10. Výkon FV elektrárne počas jedného dňa.

Figure 10. The output of PV powerplant during one day.



Na Obr. 10 je znázornený ilustračný denný chod výkonu fotovoltaickej elektrárne pre letný slnovrat (modrou krivkou) a zimný slnovrat (oranžovou krivkou). Môžeme vidieť, že výkon fotovoltaickej elektrárne počas dňa je veľmi premenlivý, čo je jedným z hlavných deficitov solárnych elektrární. Pri porovnaní modrej a oranžovej krivky tiež vidíme, že v zimnom období je maximum výkonu nižšie ako v lete, a zároveň doba, počas ktorej je elektrárňu schopná produkovať energiu, je kratšia.

Zrejme najvýznamnejšou charakteristikou každého energetického zdroja je jeho účinnosť konverzie energie. My sme na základe satelitných dát určili množstvo energie dopadajúcej na skúmanú elektrárňu v podobe slnečného žiarenia a tieto hodnoty sme následne porovnali s jej výkonom. Priemerné hodnoty účinnosti za jednotlivé mesiace sú zobrazené na Obr. 11. Celková priemerná účinnosť premeny slnečnej energie na elektrickú energiu bola na úrovni 14,7 %, čo zodpovedá účinnosti panelov vyrobených z polykryštalického kremíka.

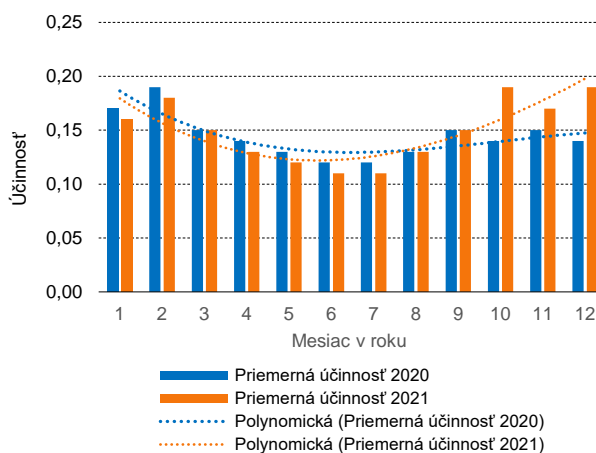
Na grafe vidíme, že účinnosť elektrárne bola o čosi vyššia v zimných mesiacoch a nižšia v letných mesiacoch. To je spôsobené uhlom dopadu slnečných lúčov na fotovoltaické panely. Keďže panely elektrárne sú pevne orientované na juh so sklonom 37°, uhol dopadu bol bližšie ku kolmici v zime. Naopak, v lete najmä v ranných a večerných hodinách nastávajú situácie, kedy slnečné lúče dopadajú na zadnú stranu panelov, a teda energia z priameho slnečného žiarenia ostáva absolútne nevyužitá.

Práve pre vyššie uvedený dôvod bolo našou poslednou úlohou odhadnutie účinnosti fotovoltaických panelov pre prípad, že by tie boli natáčané kolmo na smer dopadajúcich slnečných lúčov počas celého dňa. Túto korekciu sme urobili podelením reálneho výkonu elektrárne kosínusom uhla  $\gamma$ , ktorý zvierajú slnečné lúče a normála na povrch panela. Po aplikovaní tejto korekcie sme dostali účinnosť

konverzie slnečnej energie na elektrickú energiu na úrovni 19,4 %, pričom najväčší nárast výkonu nastal najmä v ranných a večerných hodinách. V realite sa však takýto systém natáčania fotovoltaických panelov nevyužíva. Po analýze, pri ktorej sa vezmú do úvahy zisky energie vďaka natáčaniu panelov a finančné náklady spojené s orientáciou panelov počas celého dňa priamo na Slnko, sa tento koncept stáva nevýhodným. Navyše by si takéto zapojenie fotovoltaickej elektrárne vyžadovalo výrazne väčšiu plochu na inštaláciu rovnakého počtu fotovoltaických článkov ako by tomu bolo pri klasickom rozmiestnení, keďže pri natáčaní by si jednotlivé panely odoberali slnečnú energiu ich vzájomným tienením.

Obrázok 11. Účinnosť fotovoltaickej elektrárne v jednotlivých mesiacoch.

Figure 11. The efficiency of the photovoltaic power plant data for individual months.



## REFERENCIE

- Huang, G. et al., 2019, *Estimating surface solar irradiance from satellites: Past, present, and future perspectives, Remote Sensing of Environment* 233.
- Tkáč, J.–Hvizdoš, M., *Meranie intenzity slnečného žiarenia, ELEKTROENERGETIKA, Vol.4, No.4, 2011, Technical University of Košice, ISSN 1337-6756.*
- Schmetz, J. et al., *An introduction to Meteosat Second Generation (MSG), American Meteorological Society, July 2002.*
- Dewitte, S. et al., *Centennial Total Solar Irradiance Variation, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022.*
- Caprion, D. et al., *Initial operation of the CM-SAF TOA flux products, Royal Meteorological Institute of Belgium.*
- Aminou, D., *MSG's SEVIRI Instrument, ESA bulletin 111, 2002*
- Schmid, J., *The SEVIRI Instrument, ESA/ESTEC, Keplerlaan 1, 2020.*

- [1] <https://www.kippzonen.com/Knowledge-Center/Theoretical-info/Solar-Radiation> (10.3.2022)
- [2] <https://www.eumetsat.int/meteosat-second-generation> (17.2.2022)
- [3] <https://www.eumetsat.int/upcoming-seviri-decontaminations> (26.2.2022)



# ZOSTAVENIE METADÁTOVÉHO SÚBORU 150-ROČNÉHO HURBANOVSKÉHO RADU TLAKU VZDUCHU

LUBOMÍR BABIN<sup>1</sup>, PAVOL FAŠKO<sup>2</sup>, DÁNIEL HENZEL<sup>3</sup>, TIBOR LIESKOVSKÝ<sup>4</sup>, JOZEF PECHO<sup>2,5</sup>, DALIBOR VÝBERČI<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav – Meteorologické observatórium Hurbanovo, Komárňanská 108, 947 01 Hurbanovo

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

<sup>3</sup> Földtudományi alapszak, Természettudományi Kar, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Pázmány Péter sétány 1/A, 1117 Budapešť, Maďarsko

<sup>4</sup> Katedra globálnej geodézie a geoinformatiky, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

<sup>5</sup> Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava

<sup>6</sup> 941 62 Kmeťovo, daliborvyberci@protonmail.com

*Dated since 1871, a 150-years long time series of atmospheric pressure is available from Hurbanovo, Slovakia – the series, which can be described as an uncut gem of meteorology and climatology in the country. In this paper, we tried to create a detailed metadata collection to this series, which in fact represents a historical overview of the local pressure measurements. Presented material is primarily aimed to serve as a basis for future analytic assessments of the corresponding time series, with its uncertainties, errors and opportunities adequately discussed. It can be assumed that a high quality of the Hurbanovo pressure series is preserved. Among other things, meteorological observatory Hurbanovo is certainly one of the few stations in the world with a very long operation of the unique Sprung-Fuess' barograph. Altitudes of the relevant objects (points) at the observatory were geodetically remeasured within the elaboration.*

*Z Hurbanova máme aj v prípade tlaku vzduchu k dispozícii poldruhastoročný údajový rad, datujúci sa od roku 1871, ktorý možno označiť za neobrušený klenot slovenskej meteorológie a klimatológie. V tejto práci sme sa k danému radu pokúsili zostaviť čo najpodrobnejšiu metadátovú kolekciu, ktorá je vlastne zároveň historickým prehľadom hurbanovských meraní tlaku vzduchu. Materiál je určený v prvom rade pre účely budúcich analytických spracovaní príslušného časového radu, s diskutovaním jeho neistôt, chýb a príležitostí. Dá sa predpokladať, že hurbanovský tlakový rad si z odborného hľadiska udržiava vysokú kvalitu. Popri inom sa meteorologické observatórium Hurbanovo, akiste ako jedna z mála staníc na svete, môže pyšiť veľmi dlhým prevádzkovaním unikátneho Sprung-Fuessovho barografu. V rámci spracovania boli geodeticky premerané nadmorské výšky relevantných objektov (bodov) na observatóriu.*

**Key words:** historical metadata evidence, atmospheric pressure measurements, barometers, barographs, Sprung-Fuess, data uncertainties and errors, Hurbanovo

## ÚVOD

Korektné a presné analógové merania tlaku vzduchu (tiež: atmosférický/barometrický tlak; ďalej aj zjednodušene: tlak), ktoré sa na Slovensku realizovali ako primárne zhruba poldruha storočia od počiatkov oficiálnych meteorologických meraní v polovici 19. storočia do začiatku 21. storočia, sú netriviálnou záležitosťou a radia sa medzi komplexnejšie pozorovacie úkony. Možno tvrdiť, že z technicko-metodického hľadiska ide o jedno z najzložitejších zo všetkých vykonávaných meteorologických meraní či pozorovaní. Okrem požiadavky na presnosť odčítania údajov na tlakomeri (barometri) totiž do procesu určenia výslednej hodnoty tlaku následne vstupujú aj početné opravy a redukcie, ktorých presnosť je, pochopiteľne, nemenej zásadná. Pri akýchkoľvek meraniach tlaku je ďalšou zásadnou okolnosťou aj presné poznanie miesta vykonávania meraní, keďže existuje najmä jednoznačná závislosť tlaku od nadmorskej výšky, ale tiež závislosť od zemepisnej šírky. Už len na základe

uvedených dôvodov možno usudzovať, že zachovanie absolútnej homogenity je pri meraniach tlaku vzduchu mimoriadne náročné a dokonalý tlakový rad v podstate nemôže existovať. Práve naopak sa stáva, že navonok najlepšie vyzerajúce dlhé časové rady tlaku vzduchu bývajú niekedy prakticky nepoužiteľné a dlhodobá práca tak vychádza nazmar (Róna, 1897; Hegyfoky, 1900; Réthly, 1915; Slabá, 1976; Pišútová, 1995; Lapin a Tomlain, 2001). Tlak vzduchu je možno aj najzásadnejším meteorologickým prvkom, keďže informácia o ňom je nevyhnutná pri predpovediach počasia a pre určovanie atmosférických cirkulačných schém v klimatológii (Foken, 2021). Popritom v aplikovanej praxi je potrebné špeciálne zdôrazniť esenciálny význam tlaku pre potreby letectva.

V súčasnom období oslavujeme 150-ročnicu založenia inštitucionálnej bázy hurbanovských meraní a pozorovaní, pričom je zároveň kompletizovaný poldruha storočia dlhý časový rad niektorých hlavných meteorologických charakteristík z tejto pozoruhodnej stanice, nedávno zarade-

nej do množiny tzv. Storočných staníc Svetovej meteorologickej organizácie (Výberčí a kol., 2021). Aj tlak vzduchu patrí medzi tie prvky, ktoré boli merané a sú dostupné od prvých dní existujúcej evidencie oficiálnych záznamov z Hurbanova (do roku 1948 známeho pod názvom Stará Ďala; maď., celý čas až dodnes, *Ógyalla*).

Ako napovedá úvodný odsek tohto príspevku, korektné spracovanie a hodnotenie zaznamenaných údajov o tlaku vzduchu je priam bytostne závislé na dostupnosti čo najvyčerpávajúcejšieho súboru tzv. metadát, čiže rôznorodých príslušných štruktúrovaných údajov a informácií o samotnom meraní, a o primárnych (základných, výstupných) údajoch z meraní. Stopäťdesiatročné meranie tlaku vzduchu v Hurbanove je tak meraním s azda najbohatším možným a žiaducim súborom metadát ku konkrétnemu meteorologickému meraniu na území dnešného Slovenska. V tomto príspevku sme sa snažili o zostavenie kvalitného metadátového súboru k uvedenému meraniu, s ohľadom na potenciál budúceho využitia pri expertných analýzach príslušného časového radu údajov. Prirodzene, samo o sebe nie je jednoduché zostaviť takýto súbor z časového úseku s dĺžkou (vyše) 150 rokov, zohľadňujúc navyše skutočnosť, že systematicky sa príslušné metadáta v priebehu celej doby meraní neevidovali. Napriek tomu sa pokúšame o vytvorenie čo najpodrobnejšej metadátovej kolekcie, s prirodzeným dôrazom na tie metadáta, ktoré sú kľúčové pre analytické spracovanie údajového radu. Vzhľadom na nemalý objem zhromaždených metainformácií sme sa materiál rozhodli publikovať ako samostatný príspevok, ergo bez následnej klimatologickej analýzy údajov. Ešte pred samotnou kolekciou metadát hurbanovského tlakového radu však uvádzame aj prehľad doteraz publikovaných súvisiacich prác.

## DOTERAJŠIE ANALÝZY RADU

S hodnotením hurbanovského tlakového radu za dlhšie obdobie sa možno stretnúť vo viacerých tradičných klimatologických spracovaniach. Prelomovú prácu o tlaku vzduchu publikoval Róna (1897), ktorý v rámci svojej ucelenej špecializovanej monografie zachytil viaceré aspekty tohto meteorologického prvku, vrátane bližšieho popisu staničných metadát, pričom údaje z Hurbanova napokon spracoval za roky 1876–1895. Ten istý autor neskôr v prvom ucelenom klimatologickom diele, zachytávajúcom aj územie dnešného Slovenska (Róna, 1909), vyhodnotil na podklade údajov z Hurbanova denný chod tlaku vzduchu, a to za obdobie 1891–1901. Ročný chod tlaku v Uhorsku v rámci obdobia rokov 1871–1910, aj s obsiahnutím údajov z Hurbanova, vo svojom článku spracoval a prezentoval Fraunhoffer (1915). Hurbanovo bolo pri výbere staníc zaradené aj do Berkesovej (1942) ucelenejšej regionálnej publikácie o priestorovej distribúcii tlaku vzduchu za obdobie 1901–1930. Následne Berkes (1944) bohato a podrobne prezentoval údaje z Hurbanova z rokov 1892–1942 vo svojej ďalšej regionálnej práci, zameranej na denný, mesačný a ročný chod, a dlhodobú premenlivosť tlaku vzduchu. V monografii *Klimatické pomery Hurbanova* (Kol. autorov, 1960) bol hodnotený ročný chod a extrémne tlakové hodnoty za obdobie 1901–1950. Tomlain (1963) sa venoval dennému chodu tlaku vzduchu v Hurbanove v rokoch

1951–1960. Všetky uvedené spracovania sa primárne zaoberali staničným tlakom vzduchu, hodnotenie tlaku redukovaného na hladinu mora sa objavilo iba ojedinele (napr. Kol. autorov, 1960).

Niektoré ďalšie analýzy boli prvoplánovo zamerané na kvalitu meraní a radu. Réthly (1928) overil presnosť vyčísľovania barografických pások k roku 1915. Štatistická analýza lineárneho trendu, autokorelačná analýza a testovanie homogenity hurbanovského radu tlaku vzduchu za obdobie 1872–1990 boli obsahom hodnotného príspevku Pišútovej (1995).

Okrem už priblížených prác bol hurbanovský tlakový rad námetom, či súčasťou ešte niektorých ďalších menších, resp. nadväzujúcich klimatologických štúdií (napr. Steiner, 1923; Lapin a Pišútová, 1998).

## ZÁKLADNÁ KOLEKCIA METADÁT

Prezentovaný metadátový súbor bol zostavený k 31. augustu 2022, prípadne novšie skutočnosti tak nie sú obsiahnuté. Súhrn vybraných kľúčových informácií o popisovaných meraniach staničného tlaku vzduchu je uvedený v rámci Tab. 1 a 2.

### Merania staničným ortuťovým tlakomerom

Analogové meteorologické merania tlaku vzduchu sú vykonávané osobitným typom ortuťových tlakomerov, tzv. staničnými tlakomerami, s pevným dnom nádoby a redukovanou stupnicou. Ortuťový tlakomer je konštrukčne riešený tak, že pri ňom nenastali zásadné zmeny za posledných vyše 150 rokov. Používaný prístroj má byť priebežne kalibrovaný, v súčasnej dobe sa už dlhšie dodržiava frekvencia kalibrácie aspoň raz za dva roky. Opravy a redukcie sa na meteorologickej stanici vykonávajú spravidla podľa predpísaných tabuliek priamo pre konkrétny staničný tlakomer s jeho zistenou nadmorskou výškou (Slabá, 1976; Lapin a Tomlain, 2001; Foken, 2021; Interná dokumentácia). Nadmorská výška staničného tlakomeru predstavuje výšku jeho nádoby a mala by byť presne zameraná geodetickými (nivelačnými) meraniami.

Už v čase keď Mikuláš Konkoly Thege začal na svojom pozemku budovať hurbanovské vedecké zázemie, bola ním v roku 1867 zriadená meteorologická stanica vybavená nádobkovým tlakomerom na Fortinovom princípe, Sattlerovej výroby z Viedne. Prístroj bol Konkolyho osobným vlastníctvom a bol umiestnený v predizbe budovy starého astronomického observatória, tzv. kaštieľa (Kol. autorov 1900; Borovszky, 1907; Petrovič, 1950; Konkoly Thege a Druga, 2012).

Prvé údaje o tlaku vzduchu z Hurbanova v zachovaných originálnych dokumentoch z meteorologických meraní sú dostupné od novembra 1871. Podľa meteorologickej ročenky pre rok 1872 bol stále v používaní vyššie uvedený starší tlakomer od Sattlera, ktorého prístrojová oprava nebola známa.

Niekedy v roku 1873 alebo 1874 (presný časový údaj sa nám zatiaľ nepodarilo zistiť), najneskôr však od júna 1874, došlo k výmene prístroja a používaným staničným tlakomerom sa stal nádobkový tlakomer Fortinovho typu,

viedeňskej Hauckovej výroby, č. 1216. Prístroj bol majetkom hvezdárne a naďalej sa nachádzal v predsiene starého astronomického observatória. Prístrojová oprava tlakomeru Fortin/Hauck, ako bolo dokumentované vtedajším riaditeľom uhorskej meteorológie Guidó Schenzlom a v príslušných meteorologických ročenkách, bola v čase jeho používania započítavaná a prehodnocovaná (Róna, 1897; Meteorologické ročenky; Správy o činnosti obs.).

V priebehu roka 1876 došlo k premiestneniu tlakomeru do predsiene budovy nového astronomického observatória v parku, ergo do známej, dodnes existujúcej historickej budovy hvezdárne. Presný termín tejto udalosti sme zatiaľ nezistili; premiestnenie by však azda mohlo súvisieť s presunom meteorologickej stanice na severnú stranu astronomického observatória v dňoch 6. – 14. apríla 1876. Z novej polohy je podľa Rónu (1897) známy prvý referenčný údaj o nadmorskej výške (nádobky) tlakomeru 113,28 m nad hladinou Jadranského mora (t. j. v tzv. Jadranskom výškovom systéme), ktorá bola ustanovená na základe presných nivelačných meraní. Táto výška sa následne používala aj v oficiálnych zdrojoch v posledných rokoch 19. storočia až do najbližšej zmeny polohy tlakomeru (Róna, 1897; Kol. autorov, 1900; Kol. autorov, 1960; Meteorologické ročenky; Správy o činnosti obs.).

Redukcia na teplotu ortuti 0 °C sa začala uskutočňovať od 1. septembra 1877 podľa tabuliek Károly Schradera, vtedajšieho asistenta na observatóriu, zohľadňujúc aj prístrojovú chybu teplomera na tlakomeri (Róna, 1897). V ďalšom priebehu bola redukcia na 0 °C už realizovaná štandardne počas celej doby meraní.

Od 29. septembra 1890 bol Fortin/Hauckov staničný tlakomer nahradený, bez zmeny polohy, nádobkovým staničným tlakomerom rakúskej výroby zn. Kapeller, č. 184, ktorý bol zavesený v presklenej vitríne. Prístrojová oprava bola naďalej započítavaná (Róna, 1897; Konkoly Thege, 1898a,b).

Významná zmena v umiestnení prístrojov nastala v súvislosti s presunom meteorologického observatória do novopostavenej vlastnej budovy oproti hvezdární, na opačnej strane štátnej cesty Nové Zámky-Komárno. Podľa pôvodného stavebného plánu bola pre merania tlaku vyhradená osobitná miestnosť na prízemí. Večer 30. júna 1900 bol však staničný tlakomer napokon premiestnený na prvé poschodie novej budovy observatória do tzv. tlakomernej miestnosti, ktorou bola pracovňa správcu observatória, do presnou niveláciou zistenej nadmorskej výšky 119,55 m v Jadranskom systéme. Údaje z tejto polohy sú tak evidované počnúc 1. júlom 1900 (Konkoly Thege 1899; Kol. autorov, 1900; Réthly, 1928; Kol. autorov, 1960; Pišútová, 1995; Správy o činnosti obs.; Staničné mesačné bulletiny; Meteorologické ročenky).

1. mája 1903 došlo k zmene modelu používaného staničného tlakomeru; namiesto tlakomeru Kapeller sa začal používať nádobkový tlakomer nemeckej výroby zn. Fuess, č. 1441. Poloha prístroja sa nezmenila (Správy o činnosti obs.). Fuessov staničný tlakomer bol v tej dobe v meteorologickej praxi hojne rozšíreným prístrojom, veľmi výrazne dominujúcim predovšetkým v Nemecku a Rusku. Nahradený tlakomer Kapeller zostal k dispozícii ako záložné meradlo.

V priebehu roka 1904 (presnejší časový údaj doposiaľ nezistený) boli tlakomerné prístroje za účelom skvalitnenia meraní premiestnené v rámci prvého poschodia budovy observatória z dovtedy určenej miestnosti ku schodisku. Dôvodom bolo zabezpečenie stálejších podmienok miesta merania, keďže pracovňa sa v zime často veľmi prehrievala, čo spôsobovalo chyby v nameraných údajoch. Nadmorská výška staničného tlakomeru zostala po presune zachovaná (Meteorologické ročenky; Správy o činnosti obs.).

9. júla 1912 bol staničný tlakomer Fuess kvôli vniknutiu vzduchu do trubice dočasne stiahnutý z prevádzky a poslaný do opravy. V tomto čase boli merania na niekoľko týždňov vykonávané starším staničným tlakomerom Kapeller, pri zachovaní nadmorskej výšky merania (Správy o činnosti obs.). Presný termín návratu opraveného tlakomeru Fuess do prevádzky sa nám zatiaľ nepodarilo zistiť.

Niekedy v období rokov 1915 – 1919 (presnejší časový údaj doposiaľ nezistený) bol bez zmeny polohy vymenený staničný tlakomer Fuess; do prevádzky bol uvedený novší prístroj rovnakého typu a značky, č. 1765.

V roku 1922, už za prvej Československej republiky, Dr. Emanuel Hof z vtedajšieho Štátneho ústavu meteorologického preskúšal hurbanovské tlakomerné prístroje, pričom určil novú prístrojovú korekciu staničného tlakomeru a zároveň doporučil zaobstarať nový prístroj. 1. apríla 1925 došlo k zaradeniu nového staničného tlakomeru Fuess; do prevádzky bol uvedený novší prístroj rovnakého typu a značky, č. 3329 (Obr. 1 vľavo; v niektorých zdrojoch sa mylne objavujú č. 3339 alebo 2329), pri zachovaní pôvodnej výšky 119,55 m n. J. m. Porovnávacie merania, súvisiace s touto výmenou, trvali od 30. mája 1925 do 30. septembra 1925. Od 3. júna 1925 boli údaje z nového tlakomeru oficiálne zaradené do klimatologickej evidencie (SÚM, 1928; Kol. autorov 1960; Meteorologické ročenky; Staničné originálne dokumenty).

29. novembra 1937 o 12:04 h je zaznamenané premiestnenie tlakomerných prístrojov zo steny s dreveným obkladom do skrinky, pripevnenej na stene. Nadmorská výška staničného tlakomeru zostala po presune zachovaná (Staničné originálne dokumenty).

Po pripadnutí observatória Maďarsku na základe Prvej viedeňskej arbitráže bola novým vedením v priebehu roka 1939 (presnejší časový údaj zatiaľ nezistený) zriadená osobitná tlakomerná miestnosť, ktorá vznikla pridaním steny v chemickom laboratóriu. Všetky tlakomerné prístroje boli následne zhromaždené do tejto miestnosti. Nadmorská výška staničného tlakomeru zostala zachovaná (Staničné bulletiny).

V období rokov 1901 – 1950 bola prístrojová oprava pravidelne zaznamenávaná a najmä do roku 1920 sa často menila, od roku 1933 bola už ustálenejšia. Druhá zo štandardných stálych opráv tlakomeru – gravitačná oprava, čo je oprava vzhľadom k zemepisnej šírke, bola podľa meteorologických ročeník zavedená od roku 1901. Počas prvej polovice 20. storočia sú k dispozícii pomerne nesúrodé informácie o riadnom zahrňovaní oboch opráv do nameraných staničných hodnôt. Najmä v prípade gravitačnej opravy sa v príslušných zdrojoch možno často stretávať s informáciou o jej nezapočítavaní (Berkes, 1942; Kol. autorov, 1960; Meteorologické ročenky; Staničné bulletiny; Staničné originálne dokumenty; Staničné ročenky).

Dôležitá zmena prebehla 7. augusta 1956, kedy je zaznamenané premiestnenie tlakomerných prístrojov o poschodie vyššie, teda na druhé poschodie budovy observatória do osobitne vyhradenej, malej zatemnenej a nevykurovanej miestnosti (vznikla doplnením steny a zamurovaním okien), tzv. „tlakomerne“, v priestore observatóriovej veže. Dôvodom premiestnenia bolo rozčlenenie budovy observatória na meteorologickú a geofyzikálnu časť. Aktualizovaná nadmorská výška staničného tlakomeru bola stanovená niveľáciou na 123,67 m, odvodením od predchádzajúcej výšky v Jadranskom systéme. Od popisovaného premiestnenia až do konca roka 1957 bola zavedená vyrovnávacia výšková oprava, následne od 1. januára 1958 boli odčítané údaje zaznamenávané už s ohľadom na novú výšku, a tiež s novou stálou opravou tlakomeru (Pišútová, 1995; Meteorologické ročenky; Staničné originálne dokumenty). Merania zostali naďalej vykonávané na tlakomeri Fuess č. 3329. Tento istý uvedený prístroj je v rovnakej polohe zavesený napokon až do súčasnosti a po úplnom prechode na automatické meranie od marca 2006 (viď príslušnú samostatnú podkapitolu nižšie) je dostupný ako záloha pre prípad porúch/výpadku digitálneho tlakomeru. Jeho výška 123,67 m n. J. m. zostáva až do súčasnosti referenčnou výškou, na ktorú sa prispôbujú/korigujú (na)merané hodnoty z digitálneho tlakomeru pre účely klimatologickej evidencie tlaku.

V druhej polovici 20. storočia až do skončenia oficiálneho merania mala byť k odčítaným údajom štandardne

**Obrázok 1.** Vľavo fotografia staničného ortuťového tlakomeru Fuess, č. 3329 (celkom vľavo), a normálového ortuťového tlakomeru (Wild-)Fuess, č. 42, v Hurbanove, z 21. marca 2022. Vpravo fotografia exempláru digitálneho tlakomeru Microstep-MIS MSB780 v Hurbanove, z 19. augusta 2022.

Figure 1. Left: a photograph of the station mercury barometer Fuess, No. 3329 (leftmost), and the normal mercury barometer (Wild-)Fuess, No. 42, in Hurbanovo, taken on 21 March 2022. Right: a photograph of the digital barometer Microstep-MIS MSB780 specimen in Hurbanovo, taken on 19 August 2022.



započítavaná tak prístrojová, ako aj gravitačná oprava staničného tlakomeru (Staničné ročenky; Meteorologické ročenky). V prípade gravitačnej opravy však v otázke jej započítavania možno v dostupných zdrojoch naraziť na chýbajúce jednoznačné vysvetlenia a konštatácie.

### Kontrolné merania normálovým ortuťovým tlakomerom

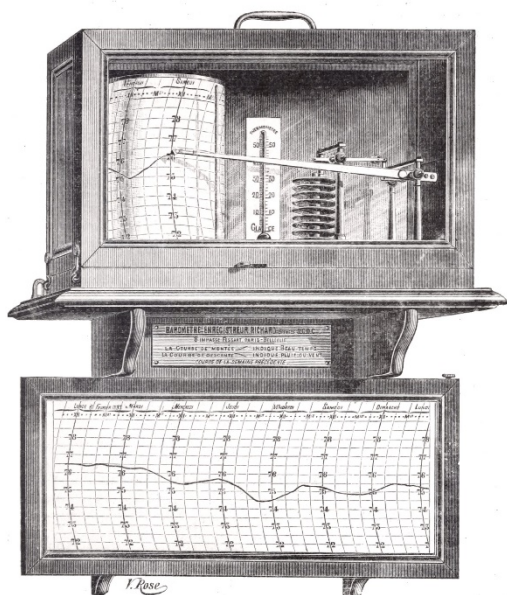
Kontrolný ortuťový tlakomer je špeciálnym druhom prístroja, ktorý priamo neslúži pre potreby údajovej evidencie. Tieto robustnejšie tlakomery sú charakteristické veľmi nízkou prístrojovou chybou, a teda vyššou presnosťou merania než napr. staničné tlakomery. Používajú sa ako etalon pri skúšaní iných ortuťových tlakomerov, občas ako cestovný (inšpektorský) prístroj pre ciachovanie jednotlivých staničných tlakomerov (Sobíšek, 1993). Konkrétnejšie vzaté teda slúžia predovšetkým na určovanie prístrojovej korekcie staničných tlakomerov. Staničné tlakomery sú zároveň nviazané na národný, resp. nadnárodný etalón, čo je štandardný referenčný normálový tlakomer pre celú meraciu sieť. Pre Hurbanovo sa vzhľadom k pestrej politicko-administratívnej histórii takéto (nad)národné etalóny nachádzali v Budapešti, Bratislave, Viedni, Prahe, či Berlíne (napr. Róna, 1897; SÚM, 1928; Interná dokumentácia; Správy o činnosti obs.).

Od konca 19. storočia sa priamo v Hurbanove realizovali pravidelné kontrolné merania veľkým modelom Wildovho normálového tlakomeru, nemeckej výroby, zn. Fuess (bežne sa označuje ako Wild-Fuess), č. 42 (Obr. 1 vľavo). Prístroj bol do Hurbanova premiestnený zo sídla vtedajšieho Uhorského kráľovského ústavu pre meteorológiu a zemský magnetizmus v Budapešti. Ide o dvojramenný ortuťový prístroj nádobkovo-násoskovej konštrukcie s pohyblivým dnom nádoby. Tento mechanicky excelentný a životnosťou trvácny tlakomer bol už od 70.–80. rokov 19. storočia dominantne používaným inštrumentom obzvlášť na nemeckých a ruských meteorologických staniaciach. Priamo v Hurbanove sú kontrolné merania tlakomerom Wild-Fuess, náležite využívaným na priebežnú kontrolu prístrojovej opravy staničného tlakomeru, dokumentované aj v prvej polovici 20. storočia. V rokoch 1900 a 1903 bol tento prístroj v Berlíne opakovane reparovaný (prečistenie). Z neskoršieho obdobia je známa porucha tohto prístroja, keď po prevzatí observatória Maďarskom v roku 1938 bol odvezený na opravu do Budapešti (Konkoly Thege, 1898a,b; Réthly, 1938; Middleton, 1964; Sobíšek, 1993; Meteorologické ročenky; Správy o činnosti obs.). Ďalší osud prístroja a jeho používania sa nám zatiaľ nepodarilo zistiť. Prístroj bol do Hurbanova každopádne vrátený a dodnes visí v súčasnej observatóriovej tlakomeri, pričom je označený ako neurčený na používanie.



**Obrázok 2.** Vľavo ilustrácia veľkého modelu aneroidového Richardovho barografu (prevzaté zo Marczell, 1897). Vpravo fotografia aneroidového mikrobarografu Metra-834, č. 790045, v Hurbanove, z 21. marca 2022.

Figure 2. Left: an illustration of the Richard Frères aneroid barograph, large model (adopted from Marczell, 1897). Right: a photography of the aneroid microbarograph Metra-834, No. 790045, in Hurbanovo, taken on 21 March 2022.



### Merania mechanickým registračným prístrojom (barografom)

Registračné meranie (mikro)barografom je paralelne vykonávaným doplnujúcim meraním tlaku vzduchu, slúžiacim na zachytávanie tlakových zmien (Slabá, 1976; Lapin a Tomlain, 2001). Uskutočňuje sa súladne s nadradeným meraním staničným tlakomerom. Barograf je v ideálnom prípade umiestnený do rovnakej nadmorskej výšky hneď vedľa staničného tlakomeru, preto sa pri premiestnení staničného tlakomeru adekvátne premiestňuje aj barografický prístroj. Pri vyčísľovaní záznamových pásov (barogramov) sa barograficky namerané údaje harmonizujú podľa zaznamenaných termínových hodnôt na staničnom tlakomeri. Štandardné vyčíslenie obsahuje hodinové okamžité hodnoty, a tiež denné maximum a minimum tlaku vzduchu.

Registračné merania tlaku vzduchu v Hurbanove sa začali 1. marca 1891, kedy bol oficiálne do prevádzky uvedený menší model aneroidového barografu francúzskej zn. Richard (Richard Frères). Od 1. októbra 1893 boli registračné merania vykonávané väčším modelom Richardovho barografu (Obr. 2 vľavo), č. 13655, s dvojinútovou frekvenciou zápisu a týždennou periodicitou otáčania valca, ktorý umožňoval odčítavanie barografických pásov s vyššou presnosťou. Malý model zostal naďalej v prevádzke pre kontrolné účely a pre prípad závad na veľkom modeli. Oba barografy Richard boli v tom čase umiestnené v presklenej vitríne hneď vedľa Kapellerovho staničného tlakomeru (Marczell, 1897; Róna, 1897; Konkoly Thege, 1898a; Kol. autorov, 1900; Krška a Šamaj, 2001). Uvedením do činnosti prvého z predmetných registračných prístrojov sa Hurbanovo stalo veľmi pravdepodobne vôbec prvým miestom v rámci meteorologických sietí na území súčasného Slovenska s prevádzkovaním barografu; následne potom tento

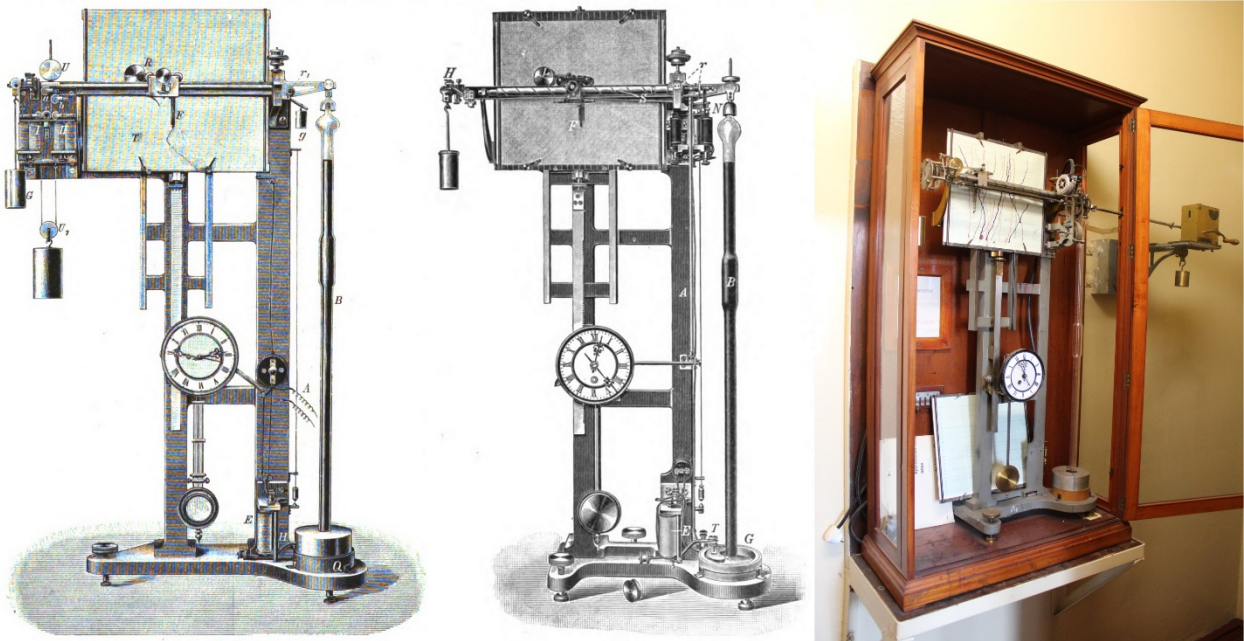
druh prístroja pribudol od marca 1895 na stanici Bratislava-Dynamitka (Margules, 1897; Správy o činnosti obs.).

V prvej polovici roka 1898 sa činovníkom pre hurbanovské observatórium podarilo zaobstarat' prelomový Sprung-Fuessov (neraz zjednodušené: Sprungov) váhový-ortuťový barograf s posuvným závažím (Obr. 3), nemeckej výroby, bez výrobného čísla (robustný a v tej dobe nie lacný prístroj sa nevyrábal natoľko masovo a exemplár bežne označovalo miesto jeho prevádzky). Nielen v tom čase, ale až do dnešného dňa má tento barograf technickým prevedením aj rozšírením povest' výnimočného prístroja, charakteristického mimoriadne vysokým rozlíšením a záznamovou presnosťou. Niektorí zamestnanci observatória absolvovali na jar 1898 pracovnú cestu do Berlína, kde boli zaškolení na prácu s týmto prístrojom, prevzali exemplár a priviezli ho domov. Po zostavení jednotlivých komponentov už priamo v Hurbanove bol barograf Sprung-Fuess 19. júna 1898 uvedený do prevádzky a od 1. júla 1898, alebo 1. januára 1899 (informácie v zdrojoch sa rôznia) boli údaje z neho zaradené do oficiálnej evidencie. Pre prípad výpadkov merania novozaradeného prístroja bol ako záloha naďalej ponechaný v prevádzke aj dovtedy primárny Richardov barograf, pričom v tejto funkcii zotrval až do roku 1981, kedy bol v dôsledku značného opotrebovania z meraní vyradený (Sprung, 1880; Marczell, 1898; Kol. autorov, 1900; Berkes, 1944; Kol. autorov, 1960; Middleton, 1964; Krška a Šamaj, 2001; Interná dokumentácia; Meteorologické ročenky; Staničné originálne dokumenty).

Na území celej rakúsko-uhorskej monarchie a neskôr prvej Československej republiky sa nám doposiaľ podarilo zistiť prevádzkovanie len šiestich exemplárov unikátneho Sprung-Fuessovho barografu: okrem Hurbanova ešte na observatóriách vo Viedni na Hohe Warte, v Záhrebe-Gradci (-Griči), v Terste, na Snežke, a tiež v Prahe-Karlove (napr.

**Obrázok 3.** Sprung-Fuessov váhový-ortuťový barograf s posuvným závažím. Vľavo a v strede konštrukčná schéma modelu prístroja na konci 19. storočia (prevzaté zo Scheel, 1895), resp. finálna verzia zo začiatku 20. storočia (prevzaté zo Sprung, 1905); možno usudzovať, že hurbanovský exemplár technicky predstavuje prechod medzi týmito dvoma modelmi. Vpravo fotografia hurbanovského exempláru z 21. marca 2022, v porovnaní s modelom s markantnými konštrukčnými úpravami, uskutočnenými v Hurbanove najmä v prvom desaťročí a 80. rokoch 20. storočia.

Figure 3. Sprung-Fuess' balance rolling-weight mercury barograph. Left and in the middle: model instrument's construction scheme in the late 19th century (adopted from Scheel, 1895) and the final version from the early 20<sup>th</sup> century (adopted from Sprung, 1905), respectively; supposedly, the Hurbanovo specimen technically represents a transition between these two models. Right: a photography of the Hurbanovo specimen taken on 21 March 2022, with marked construction modifications comparing to the model; these modifications were carried out in Hurbanovo, especially in 1900s and 1980s.



Rotch, 1888; Hellmann, 1916; SÚM, 1923; SÚM, 1928; Gregor, 1964; Krška a Šamaj, 2001; Orlič, 2007; Raicich a Colucci, 2021).

V počiatočnom období prevádzky na konci 19. a začiatku 20. storočia na barografe Sprung-Fuess dochádzalo k pomerne častým poruchám a výpadkom, ktoré viedli k nespoľahlivosti, resp. nedostupnosti meraných údajov. V takýchto prípadoch boli údaje zisťované zo záložného Richardovho veľkého barografu. Prvé technické úpravy na exemplári Sprung-Fuessovho barografu priamo v Hurbanove boli vykonané už krátko po dodaní prístroja v roku 1898 (pridanie platínovej doštičky a pomocného závažia do konštrukcie). V roku 1905 Emil Czuczy odstránil chybu platínových kontaktných doštičiek, ktorá spôsobila výpadok prístroja na dlhší čas. Iná záhada bola odstránená pridaním rezistora v roku 1907. Neskôr v priebehu prvého desaťročia 20. storočia bola konštrukcia hurbanovského exempláru Sprung-Fuessovho barografu významne zdokonalená, čím sa zabezpečila jeho precízna funkčnosť do budúcnosti na dlhé roky. O tieto konštrukčné úpravy sa primárne zaslúžil a popísal ich vtedajší správca meteorologického observatória Mikuláš Konkoly Thege mladší (známy aj ako M. Andor K. T.; príbuzný, avšak nie syn zakladateľa), ktorý bol nespokojný s niektorými technickými riešeniami na originálnom produkte (Obr. 3). Práve kvôli týmto úpravám sa hurbanovská sústava barografu od tejto doby niekedy označovala aj ako Sprung-Konkolyho, prípadne Sprung-

Fuess-Konkolyho systém. V roku 1909 Konkoly ml. modifikoval barograf podľa svojich plánov po vzore úprav dánskeho meteorológa Geoga Runga, ktorý priniesol zásadné vylepšenia prístroja už v rokoch 1884 a 1885. Sústava s týmito úpravami sa preto niekedy označovala aj ako Rung-Sprungov systém (Rung, 1884 a 1885; Konkoly Thege ml., 1933; Antal, 2004; Bartha, 2016; Meteorologické ročenky; Správy o činnosti obs.). V ďalšom období prevádzky dochádzalo na barografe Sprung-Fuess len k drobným závadám, ktoré boli opravované na mieste. Zvýšená poruchovosť prístroja sa neskôr vyskytla v záverečnom období jeho prevádzky v 80. rokoch 20. storočia; tieto problémy s pohonom boli priebežne riešené čistením prístroja, až napokon výraznejším konštrukčným zásahom v podobe nahradenia hodinového stroja elektromotorčekom v apríli 1987 (Interná dokumentácia). Posledným uvedeným krokom tak barograf stratil svoj plne mechanický charakter.

V januári 1981 bol do Hurbanova prinesený a od roku 1982 aj do oficiálnych meraní zaradený aneroidový mikrobarograf zn. Metra, model 834, československej výroby, s týždennou otočkou valca. Postupne tu boli používané dva exempláre tohto prístroja: prvý, č. 790045 (Obr. 2 vpravo), je evidovaný od 1. januára 1982 a je na stanici k dispozícii do súčasnosti, keď sa využíva ako doplnkové meranie na informatívne účely pre pozorovateľa. Údaje z druhého exempláru, č. 790126, sa v evidencii objavujú od augusta 1985. Popri meraní mikrobarografom Metra bol naďalej

oficiálne využívaný aj barograf Sprung-Fuess (Interná dokumentácia; Staničné originálne dokumenty).

Vyčísľovanie barografických pásov, rešpektujúc celosieťový proces, skončilo na hurbanovskom observatóriu ku koncu roka 1989 (Lapin a Tomlain, 2001). Aktívne barografy Sprung-Fuess a Metra prestali plniť svoju dovtedajšiu funkciu z hľadiska evidencie údajov. Týmto krokom sa fakticky skončila miestna éra oficiálnych barografických meraní.

Doteraz úplne posledný hurbanovský záznam (registračná páska) z výnimočného barografu Sprung-Fuess je uložený na observatóriu a datuje sa k 26. septembru 1990. V tento deň bol tak prístroj úplne odstavený. V prvom desaťročí 21. storočia z neho bola ešte odobratá ortuť. Kvôli nutným technickým úpravám už barograf stratil originálnu plne mechanickú funkcionálnu a pre jeho chod je nutný elektrický prúd, no v prípade pokročilej, veľmi dôslednej hodinárskej opravy by mu zrejme stále bolo možné jeho pôvodnú funkcionálnu dispozíciu prinavrátiť. Každopádne, a to je rozhodne pozoruhodné, by tento prevratný, vzácny, a zároveň veľmi precízny prístroj bolo možné prevádzkovať aj v súčasnosti, t. j. v čase písania tohto textu vyše 124 rokov od jeho nainštalovania v Hurbanove. Niet pochýb, že ide v tomto ohľade o výnimočné miesto v rámci celého sveta.

### Automatické merania digitálnym tlakomerom

Modernou a v súčasnosti už plne implementovanou formou merania tlaku vzduchu sú automatizované merania digitálnym tlakomerom, ktoré, pochopiteľne, fungujú zároveň aj ako registračné merania. Technologicky sú realizované elektronickým snímačom tlaku, ktorým je polovodičový oscilátor, alebo kapacitný, prípadne rezonančný snímač absolútneho tlaku. Kalibrovaný snímač tlaku sa pravidelne vymieňa za iný v primeranom rekaliбраčnom intervale (Foken, 2021). Prirodzene, manuálne započítavanie prístrojovej a gravitačnej opravy a teplotnej redukcie už nie sú nutné; nameraná hodnota je priamo hodnotou staničného tlaku vzduchu. Prístrojová nadmorská výška je výškou tlakomerného snímača a mala by byť presne zameraná geodetickými (nivelačnými) meraniami.

Počiatky a prvé obdobie automatických meteorologických meraní tlaku vzduchu v Hurbanove zabezpečovali produkty od fínskej firmy Vaisala (Väisälä). Tieto digitálne prístroje boli na Slovensku umiestňované do interiéru (Jakubík a kol., 1995), a v Hurbanove sa preto nachádzali v budove observatória, priamo v pracovni pozorovateľa na druhom poschodí. Úplne prvý digitálny tlakomer, typ PA 11A, č. 463216, bol na miesto určenia dodaný a nainštalovaný 17. novembra 1992 (Interná dokumentácia). Tento tlakomer, kvalitatívne určený a bežne používaný dokonca na leteckých meteorologických staniách, sa nachádzal na pracovnom stole a bol umiestnený orientačne do rovnakej výšky ako existujúci analógový (ortuťový) staničný tlakomer v tlakomerni na tom istom podlaží (123,67 m n. J. m.). Digitálny tlakomer Vaisala PA 11A bol prevádzkovaný do 6. novembra 2001 popoludní, kedy bol pri inovácii automatickej stanice nahradený digitálnym tlakomerom rovnakej zn., typ PTB210A. Tento bol umiestnený v rámci rovnakej miestnosti na nové miesto do rozvodnej skrinky pre automatickú stanicu s udaním nad-

morskej výšky 124,27 m, odvodennej od predchádzajúcej výšky približným (negeodetickým) meraním. Prístroj bol následne udržiavaný v tejto polohe až do svojej deinštalácie a vyradenia dňa 11. apríla 2019, po úplnom prechode na merania v rámci automatickej stanice novej generácie (viď nasledujúci odsek). V rámci pravidelného kalibračného procesu bola na tlakomeri Vaisala PTB210A v dobe jeho prevádzky viackrát uskutočnená výmena celého snímača (Interná dokumentácia). Údajová evidencia z digitálnych tlakomerov Vaisala v synoptickom spravodajstve v medzinárodnej výmene a v príslušnej elektronickej databáze SHMÚ sa datuje od začiatku roka 1995. Od 1. marca 2006 boli údaje z automatického merania oficiálne zaradené aj do klimatologickej evidencie, čím sa de facto uzavrela vyše 130 rokov trvajúca éra primárnych meraní tlaku vzduchu v Hurbanove analógovým ortuťovým tlakomerom.

V súčasnosti môžeme opodstatnene hovoriť o druhej etape v rámci éry hurbanovských automatických meraní tlaku vzduchu. Ďalším používaným tlakomerom, funkčným od 23. júna 2015 už v rámci novoinštalovanej automatickej stanice novej generácie, sa stal prístroj od slovenskej firmy Microstep-MIS, typ MSB780 (Obr. 1 vpravo). Tlakomer bol situovaný do meteorologickej záhradky observatória neďaleko meteorologickej budky, do krytej polohy v rámci infraštruktúry automatickej stanice, v ktorej zotrúva nepretržite až do súčasnosti (Interná dokumentácia). Nadmorská výška prístroja bola stanovená odhadom na 116,30 m, pričom bola odvodená podľa zaužívanej výšky terénu záhradky pod meteorologickou búdkou a prístrojov v meteorologickej búdke. V priebehu spracovania tejto práce sme však zistili, že uvedená nadmorská výška je výrazne chybná (viď podkapitola nižšie), pretože nadmorská výška 115,0 m (v Jadranskom systéme), používaná a preberaná ešte od začiatku 20. storočia (Meteorologické ročenky; Staničné bulletiny) a časom procesne stotožnená s výškou terénu pod búdkou, bola v súčasných prevádzkových reáliách nesprávna. 27. mája 2022 došlo ku geodetickému premeraniu príslušných nadmorských výšok; nadmorská výška senzora tlakomeru bola určená na 113,75 m vo výškovom systéme Baltský po vyrovnaní (Bpv), a popritom zistená nadmorská výška terénu pod meteorologickou búdkou na 112,1 m v Bpv. Následne od 1. júna 2022 bola zistená nová výška tlakomeru oficiálne implementovaná do systému meraní a evidencie z meraní. V rámci pravidelného kalibračného procesu bola viackrát uskutočnená výmena tlakomerného snímača Microstep-MIS (Interná dokumentácia). Prvé údaje z prístroja sú v príslušnej elektronickej databáze SHMÚ zaznamenané k 20. aprílu 2016. Ako klimatologické sú merania z tohto tlakomeru vedené od 1. marca 2019, pričom špeciálne pre túto evidenciu je zavedená/započítavaná vyrovnávací oprava na výšku 123,67 m n. m. (dlhodobá poloha existujúceho ortuťového staničného tlakomeru Fuess).

### Prerušenia meraní

Merania tlaku vzduchu v Hurbanove boli na rôzne dlhý časový úsek prerušené v priebehu rokov 1879, 1880, 1884, 1888, 1914 a 1919. Podrobnejšie informácie už boli publikované v starších prácach (Róna, 1897; Kol. autorov, 1960; Pišútová, 1995).

**Tabuľka 1. Súhrn niektorých základných údajov o tlakomeroch, používaných pre klimatologické (termínové) merania staničného tlaku vzduchu v Hurbanove. Písmeno pri nadmorskej výške označuje výškový systém: J – Jadranský, B – Baltický po vyrovnaní. Stav k 31. augustu 2022.**

*Table 1. Basic summary on the barometers, used for the station air pressure climatological measurements in Hurbanovo. The letter after the altitude value indicates the height system: J – Adriatic, B – Baltic after adjustment. State as of 31 August 2022.*

| Obdobie od                 | Obdobie do                 | Druh tlakomeru | Typ / značka tlakomeru | Nadm. výška tlakomeru [m] | Poznámky  |
|----------------------------|----------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|---|
| 1867                       | niekedy v r. 1873 al. 1874 | ortuťový       | Fortin / Sattler       | nejasná                   | Najstaršie meteorologické záznamy disponibilné od novembra 1871   |
| niekedy v r. 1873 al. 1874 | niekedy v r. 1876          | ortuťový       | Fortin / Hauck         | nejasná                   |   |
| niekedy v r. 1876          | 28.IX.1890                 | ortuťový       | Fortin / Hauck         | 113,28 J                  |   |
| 29.IX.1890                 | 30.VI.1900                 | ortuťový       | Kapeller               | 113,28 J                  |   |
| 1.VII.1900                 | 30.IV.1903                 | ortuťový       | Kapeller               | 119,55 J                  |   |
| 1.V.1903                   | 8.VII.1912                 | ortuťový       | Fuess                  | 119,55 J                  | Premiestnenie prístroja bez zmeny nadm. výšky niekedy v roku 1904   |
| 9.VII.1912                 | niekedy v r. 1912          | ortuťový       | Kapeller               | 119,55 J                  |   |
| niekedy v r. 1912          | 6.VIII.1956                | ortuťový       | Fuess                  | 119,55 J                  | Premiestnenia prístroja bez zmeny nadm. výšky 29.XI.1937 a niekedy v roku 1939; Výmery prístroja niekedy v rokoch 1915 – 1919 a 3.VI.1925   |
| 7.VIII.1956                | 31.XII.1957                | ortuťový       | Fuess                  | 123,67 J                  | Zavedená/započítavaná vyrovnávací výšková oprava na nadm. výšku 119,55 m (J)  |
| 1.I.1958                   | 28.II.2006                 | ortuťový       | Fuess                  | 123,67 J                  |   |
| 1.III.2006                 | 28.II.2019                 | digitálny      | Vaisala PTB210A        | 124,27 J                  | Nadm. výška určená približným meraním   |
| 1.III.2019                 | 31.V.2022                  | digitálny      | Microstep-MIS MSB780   | 116,30 J                  | Zavedená/započítavaná vyrovnávací výšková oprava na nadm. výšku 123,67 m (J); Údaje zaťažené značnou systematickou chybou v dôsledku nesprávnej nadm. výšky (viď podkapitolu v diskusii nižšie) |
| 1.VI.2022                  | v prevádzke                | digitálny      | Microstep-MIS MSB780   | 113,75 B                  | Premeranie nadm. výšky; Zavedená/započítavaná vyrovnávací výšková oprava na nadm. výšku 123,67 m (J)  |

**Tabuľka 2. Súhrn niektorých základných údajov o mechanických barografoch, používaných pre doplnkové merania staničného tlaku vzduchu v Hurbanove. Stav k 31. augustu 2022.**

*Table 2. Summary of some basic information on the mechanical barographs, used for the station air pressure complementary measurements in Hurbanovo. State as of 31 August 2022.*

| Začiatok evidencie z meraní | Druh barografu                     | Typ / značka barografu | Poznámky   |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|--|
| 1.III.1891                  | aneroidový                         | Richard (menší model)  |  |
| 1.X.1893                    | aneroidový                         | Richard (veľký model)  |  |
| 1.VII.1898 al. 1.I.1899     | váhový-ortuťový s posuvným závažím | Sprung-Fuess           | Výrazne konštrukčne zveladený priamo v Hurbanove v prvom desaťročí 20. storočia, a tiež v apríli 1987 (elektrický pohon) |
| 1.I.1982                    | aneroidový                         | Metra-834              | Dva rôzne exempláre  |

## Pozorovacie termíny

Hlavné klimatologické termíny pozorovaní boli od roku 1872 zhodné s dnešnými (7, 14, 21 h stredného miestneho slnečného času), okrem niektorých období v rokoch 1874, 1885 – 1893 a 1903 – 1905 (Róna, 1897; Kol. autorov, 1960; Pišútová, 1995). Niektoré tlakové údaje z týchto období je však možné doplniť z vyčíslení barografických pásovk, ktoré sú v príslušných zdrojoch dostupné od roku 1891.

## DISKUSIA

### Nadmorské výšky a súvisiace neistoty a chyby

Nadmorská výška (tlakomeru) je kľúčovým parametrom najmä v prípade prepočtu, tzv. redukcie údajov o tlaku vzduchu na zvolenú jednotnú hladinu, v slovenskej praxi normálne na strednú hladinu mora. Pochopiteľne, používané metódy presných geodetických meraní nadmorskej výšky sa v priebehu času menili a vyvíjali, ergo spresňovali. V kon-

traste k výškovým údajom zo súčasnosti tak môže byť prítomná určitá neistota o ich presnosti najmä v prípade najstarších výškových údajov pri tlakomeroch, ktorých presnú niekdajšiu polohu už dnes nemožno určiť. Najstarší spoľahlivejší údaj o presnej nadmorskej výške staničného tlakomeru v Hurbanove spadá do roku 1876 (Tab. 1), redukcie na jednotnú hladinu je teda v prípade tamajšieho tlakového radu možné realizovať práve od uvedeného roku.

V porovnaní so zhrnutím v Tab. 1 sa v jednotlivých zdrojoch možno rôzne stretnúť aj s inými konkrétnymi hodnotami nadmorskej výšky hurbanovského tlakomeru. Opatrne treba pristupovať k výškovým údajom z 19. storočia, obzvlášť v najstarších uhorských meteorologických ročenkách, v ktorých sa vyskytujú rôzne hodnoty, meniace sa prakticky z roka na rok. To bolo spôsobené predovšetkým stanovovaním výšky s využitím meracích metód s nízkou presnosťou a hodnovernosťou, napr. samotnými barometrickými meraniami. Prvé pokusy o presnejšie geometrické stanovenie výšky tlakomeru na stanici prebehli v máji 1876 a následne v roku 1877, údaje z nich sa však nezanedbateľne líšili a aj v ďalších ročenkách zostávali naďalej pomerne variabilné. Ďalej, už v ére dostatočne spoľahlivých výškových meraní približne od konca 19. storočia, sa v mnohých prípadoch objavujú zaokrúhlené hodnoty výšok na celé metre, resp. desatiny metra. Určitá nejasnosť plynie z výškového údaju pri vyčísleniach barografických pásov v rámci niektorých meteorologických ročeník v prvom a druhom desaťročí 20. storočia, pri ktorých sa udáva údaj 119,35 m nad hladinou Jadranského mora. Vystáva otázka, či nejde špecificky o výšku barografu, avšak v hlavných klimatologických termínoch sú údaje z vyčíslení štandardne harmonizované, a tak súhlasné so staničným tlakomerom s výškou 119,55 m n. J. m.

Určitú komplikáciu predstavuje neurčenie nadmorskej výšky digitálneho tlakomeru Vaisala PTB210A, používaného medzi rokmi 2001 a 2019, presnejším nivelačným meraním. Chyba sa však v tomto prípade javí ako zanedbateľná ( $\pm 0,1$  hPa) a nemala by tak byť pre analýzy príslušných údajov kriticky problematická.

O čosi závažnejšou okolnosťou je chyba nadmorskej výšky digitálneho tlakomeru Microstep-MIS MSB780, zistená počas spracovania tohto článku. Z tohto dôvodu sú v dobe používania tohto tlakomeru, až do prevádzkovej opravy výšky 1. júna 2022, niektoré údaje v evidencii zaťažené systematickou chybou. V klimatologickej evidencii sú v období 1. marca 2019 – 31. mája 2022 údaje o staničnom tlaku vzduchu vedené s chybou  $-0,32$  hPa (korektný údaj má byť nižší). Dotknuté sú ale napr. taktiež údaje o tlaku vzduchu redukovanom na hladinu mora (ďalej aj zjednodušene: redukovaný t. v.), zaslané z uvedeného tlakomeru do medzinárodnej výmeny v spravodajstve SYNOP, a to približne od popoludnia 10. marca 2019 do predpoludnia 1. júna 2022, v prípade ktorých je prítomná systematická chyba  $-0,3$  až  $-0,5$  hPa (závisí od poveternostnej situácie). Uvedené chyby možno pritom pokladať za značné vzhľadom ku skutočnosti, že tlak vzduchu je vôbec najpresnejšie meraným meteorologickým prvkom, pri ktorom je aj pri analógovom meraní ortuťovým tlakomerom ľahko dosiahnuteľná presnosť merania  $0,1$  hPa s dlhodobou stabilitou (Lapin a Tomlain, 2001).

Dotknuté chybné údaje bude preto nutné v analytických prácach adekvátne korigovať/prepočítavať.

V údajoch o redukovanom tlaku vzduchu v medzinárodnej výmene taktiež formálne upozorňujeme na potenciálnu malú chybu, s možným výskytom až do popoludnia 10. marca 2019, vzniknutú zaokrúhlením vstupného údaju o nadmorskej výške pri redukcii (prepočte). Táto chyba môže predstavovať  $\pm 0,1$  hPa. V ideálnom prípade by bolo vhodné opätovne údaje prepočítavať.

Ešte jedným neopomenuteľným momentom vo veci nadmorských výšok je nehomogenita používaných výškových systémov (Tab. 1), diskutovaná už v našej staršej práci (Výberči a kol., 2020; okrem toho vid' tiež napr. Mojzeš a Kalafut, 2019). V polovici 20. storočia bol v rámci vtedajšieho Československa zrealizovaný prechod z pôvodného jadranského na do súčasnosti používaný systém nadmorských výšok Baltský po vyrovnaní (Bpv). Výška v Bpv je menšia než v jadranskom systéme, pričom rozdiel medzi uvedenými výškovými systémami dosahuje na území bývalého Československa v priemere okolo  $0,40$  m. Vo všeobecnosti platí, že použitá výška podľa jadranského systému môže viesť pri redukcii k nadhodnoteniu hodnôt tlaku vzduchu o  $0,1$  hPa v porovnaní s použitím výšky v Bpv. V prípade Hurbanova sa v najbližšom čase, v každom prípade však pred spracovaním údajového radu, plánujeme zaoberať zjednotením výšok z oboch systémov; táto úloha si bude vyžadovať predovšetkým geodetické premeranie nadmorskej výšky (v systéme Bpv) ortuťového staničného tlakomeru Fuess, ktoré je však technicky náročnejšie, vzhľadom k interiérovému umiestneniu prístroja na druhom poschodí budovy v malej miestnosti.

### Ďalšie odporúčania pre analýzy radu

Pri redukcii tlaku vzduchu na hladinu mora dochádzalo na Slovensku v priebehu času k zmenám v používanej barometrickej rovnici. Redukcie je preto pri analytických spracovaniach žiaduce vykonávať unifikovanou metódou, ideálne s využitím aktuálnej rovnice, integrovanej a používanej v národnej sieti profesionálnych meteorologických staníc (Výberči a kol., 2020).

V procese redukcie tlaku býva požadovanou vstupnou informáciou, o. i., aj údaj o geografickej šírke stanice. V prípade Hurbanova však v kontexte geografickej šírky došlo len k nepatrným zmenám v umiestnení stanice (tlakomeru). Keďže výsledná hodnota redukovaného tlaku reaguje na údaj o zemepisnej šírke len nepatrne citlivo, je možné pre Hurbanovo pri redukciiach pre celé obdobie prevádzky stanice používať jednotný údaj o geografickej šírke.

### Všeobecné neistoty v tlakových radoch a v hurbanovskom rade

Aspoň v krátkosti sa akiste hodí zmieniť aj o bežných systematických neistotách, sprevádzajúcich existenciu každého tlakového radu. Popri nich sa môžu vyskytnúť ešte aj náhodné chyby, ktorým sa však bližšie venovať nebudeme. Je potrebné zdôrazniť, že vzniknuté chyby z týchto množín je v prevažnej väčšine prípadov nemožné identifikovať a odstrániť, a namerané údaje sa teda dodatočne nedajú opraviť.

Niektoré základné neistoty uvádza Burt (2020), pričom začína tzv. pozorovateľskou chybou (biasom), kedy rôzni pozorovatelia môžu údaje z rovnakého prístroja odčítavať trochu inak. Prirodzenou je bežná prístrojová neistota (t. j. meracia presnosť, rozlíšenie), ako pri starších analógových, tak aj modernejších digitálnych tlakomeroch. Uvažovať možno ďalej nad neistotami, súvisiacimi s kalibráciou prístrojov; okrem nesprávne prevedenej kalibrácie môže ovplyvniť merané údaje aj jej nepravidelnosť. Aj konkrétne v prípade hurbanovských meraní bola frekvencia pravidelných kalibrácií tlakomeroch v niektorých obdobiach v minulosti nižšia. S kalibráciami následne čiastočne súvisia potenciálne chyby, vznikajúce pri započítavaní nutných korekcií; či už nepresné, prípadne neaktuálne hodnoty korekcií, ich nekonštantné započítavanie, alebo rôzna používaná metodika stanovovania korekcií. Práve nejasnosti v započítavaní korekcií zdá sa predstavujú zdanlivú nehomogenitu aj v prípade tlakového radu Hurbanova, najmä v období zhruba do polovice 20. storočia.

Iné neistoty sa špeciálne dotýkajú aj procesu redukcie hodnôt tlaku na hladinu mora, do ktorého vstupujú aj početné „netlakové“ premenné. Bližšie už boli popísané možné neistoty v súvisi s nadmorskou výškou, objaviť sa ale môžu aj rôznorodé neistoty späté s inými vstupnými veličinami v redukcii, t. j. meteorologickými údajmi o teplote a vlhkosti vzduchu, resp. procesom ich merania. Pri termínových meraniach tzv. staničnými analógovými prístrojmi je prirodzene prítomná neistota v dôsledku toho, že jednotlivé merania vstupných veličín pre tlakovú redukciu nie sú uskutočnené v jednom okamihu. Napokon, čo je však dobre známou a diskutovanou skutočnosťou (Purevjav a kol., 2015; Burt, 2020; Výberčí a kol., 2020), zďaleka najväčší potenciálny zdroj neistôt v redukčnom procese vzniká matematicky pri staničiach, umiestnených viac ako niekoľko metrov nad strednou hladinou mora (prevažná väčšina), obzvlášť v prípade vyššie položených. Tieto neistoty sú v rámci barometrickej rovnice najčastejšie spojené s charakteristikou tzv. virtuálnej teploty vzduchu a zvyknú sa špecificky objavovať najmä počas poveternostných situácií s výskytom výraznejších prízemných inverzií teploty vzduchu.

## ZÁVER

Tlak vzduchu zostáva fundamentálnym prvkom pre synoptickú meteorológiu, má však aj veľký klimatologický význam z pohľadu zmien vo veľkopriestorovej cirkulácii atmosféry. Kvôli malej variabilite mesačných a ročných priemerov však nepatrí medzi významné prvky pre lokálnejšie tradičné klimatologické spracovania (Lapin a Tomlain, 2001; Foken, 2021). Väčšia odborná pozornosť sa tlaku venovala hlavne v starších dobách, keď boli skúmané jeho hlavné zákonitosti ako periodické a aperiodické zmeny, či vzťah k poveternostným situáciám a javom. Aj dnes však tlaku nechýba významné využitie, a to napr. pri tvorbe reanalýz historického počasia, aktuálne zahrňujúcich tlakové údaje už od začiatku 19. storočia (Compo a kol., 2019). Vyše 150 rokov dlhý hurbanovský tlakový rad tak v konečnom dôsledku predstavuje významnú príležitosť pre expertné spracovania a možno ho označiť za neobrátený klenot slovenskej meteorológie a klimatológie.

Mnohé okolnosti súvisiace s meraniami tlaku vzduchu vo všeobecnosti vnášajú priestor na výskyt nehomogenít v príslušných časových radoch. V prípade radu z Hurbanova sa však kritické systematické chyby minimálne od v období rokov 1901–1990 nevyskytovali, keď Pišútová (1995) skonštatovala, že minimálne od začiatku 20. storočia možno rad považovať za kvalitný a homogénny. Potenciálne nezaobťažujúcu novú nehomogenitu sme síce pri tomto spracovaní identifikovali v období posledných rokov, túto však možno pri analýzach bez väčších problémov eliminovať. Preto si oprávnené trúbame predpokladať, že hurbanovský tlakový rad si naďalej udržiava svoju vysokú kvalitu a odbornú hodnotu.

Pišútová (1995) ďalej zhodnotila hurbanovský rad tlaku vzduchu ako nehomogénny pred rokom 1901 kvôli zníženej kvalite meraní, resp. nedostatku potrebných metadát. V tejto práci sa nám, okrem iného, podarilo zhromaždiť mnohé zásadné informácie aj z 19. storočia, takže homogenita a kvalita radu v danom období bude môcť byť opätovne prehodnotená s nádejou na priaznivejší výsledok.

Pochopiteľne, v budúcnosti je stále reálne objavenie ďalších informácií, ktoré povedie k doplneniu, spresneniu či opravám v obsahu predmetného metadátového súboru. Pevne však veríme, že sa nám už v tomto príspevku podarilo obsiahnuť dostatok rozhodujúcich informácií pre potreby klimatologických analýz. Diskutované existujúce aj eventuálne diskrepancie v časovom rade bude pri spracovaniach žiaduce kriticky zhodnotiť, ideálne aj odstrániť.

V prípade ponúkajúcich sa dlhodobých spracovaní tlaku vzduchu redukovaného na hladinu mora v Hurbanove sú zrejme niektoré kľúčové zistenia a odporúčania. Redukcie sú na základe prezentovaných poznatkov uskutočniteľné od roku 1876 (prvý známy referenčný údaj o nadmorskej výške tlakomeru) a je potrebné ich uskutočňovať jednotne s využitím aktuálnej barometrickej rovnice. V prípade hodnotenia extrémnych okamžitých hodnôt redukovaného tlaku je od automatizácie meraní možné prednostne využívať tieto údaje, samozrejme však len so zohľadnením príslušných neistôt a eliminovaním možných chýb. Naďalej však odporúčame využívať aj paralelne evidované údaje z klimatologických meraní.

V priebehu zostavovania tohto článku sme na hurbanovskom meteorologickom observatóriu zrealizovali geodetické premeranie prevádzkových nadmorských výšok. Súbežne s týmto príspevkom tiež pripravujeme rozšírenú analýzu tamojších extrémov redukovaného tlaku vzduchu, pričom pre potreby takejto štúdie bude na mieste ešte vhodné uskutočniť premeranie niektorých ďalších historických výškových údajov.

## Podakovanie

V súvislosti s aktuálne si pripomínaným významným výročím meteorologických pozorovaní v Hurbanove symbolicky vzdávame hold všetkým pozorovateľom a inak angažovaným osobám, slúžiacim na tamojšej meteorologickej stanici -observatóriu v priebehu dlhšej, a bezpochyby pozoruhodnej pestrej histórie jej prevádzky. Za pomoc pri zhromažďovaní potrebných informácií k tomuto článku ďakujeme zamestnancom Geofyzikálneho odboru hurbanovského Geomag-

netického observatória Ústavu vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Ing. Renáta Péterovej z Meteorologického observatória Slovenského hydrometeorologického ústavu v Hurbanove, Stanislave Machovej z Českého hydrometeorologického ústavu v Prahe a Ing. Daliborovi Galovi zo Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Ďakujeme tiež obom recenzentom za posúdenie nášho príspevku a obsahové pripomienky.

## LITERATÚRA

- Antal, S., 2004, *Magyarországi meteorológusok életrajzi lexikonja*. Budapest: Országos Meteorológiai Szolgálat, 135 pp.
- Bartha, L., 2016, Emlékkülés Ógyallán. *Meteor* 46(7–8): 114–117.
- Berkes, Z., 1942, A légnyomás eloszlása Magyarországon (1901–1930). A Magyar Király Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet hivatalos kiadványa, Magyarország éghajlata I. Budapest: A magyar király országos meteorológiai és földmágnességi intézet, 60 pp.
- Berkes, Z., 1944, A légnyomás változásai Magyarországon (napi, havi, évi menet és az évszázados változás). A magyar király országos meteorológiai és földmágnességi intézet hivatalos kiadványa, Magyarország éghajlata 3. Budapest: A magyar király országos meteorológiai és földmágnességi intézet, 52 pp.
- Borovszky, S., 1907, Magyarország vármegyéi és városai – Komárom vármegye és Komárom sz. kir. város. Budapest: Országos Monografia Társaság, 600 pp.
- Burt, S., 2020, Uncertainties in barometric pressure observations. *Weather* 75(4): 116.
- Compo, G.P. a kol., 2019, *The International Surface Pressure Databank version 4*. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. [Dostupné online na <https://rda.ucar.edu/datasets/ds132.2/>. Posledný prístup 8.9.2022.]
- Foken, T. (ed.), 2021, *Springer Handbook of Atmospheric Measurements*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 1748 pp.
- Fraunhofer, L., 1915, A légnyomás évi menete Magyarországon. *Időjárás* 19(1): 2–7.
- Gregor, A., 1964, *Täglicher und jährlicher Gang des Luftdruckes in Prag, ke Karlovu, im Zeitraum 1921–1960*. *Studia Geophysica et Geodaetica* 8(4): 364–376.
- Hegyföky, K., 1900, Hibák forrása a barometer adataiban. *Időjárás* 4(3): 65–83.
- Hellmann, G., 1916, *Das meteorologische Observatorium auf der Schneekoppe. Jahres-Bericht des Sonnblick-Vereines* 24/1915: 6–9.
- Interná dokumentácia (metadátová evidencia, staničné listy, evidenčné listy, prevádzkové denníky, služobné hlásenia, ai.) observatória v Hurbanove a Slovenského hydrometeorologického ústavu.
- Jakubík, D.–Danč, D.–Ondráš, M., 1995, Automated meteorological stations in the network of the Slovak Hydrometeorological Institute. In: WMO, 1995, *Instrument and observing methods report No. 58. Papers presented at the international workshop on experiences with automatical weather stations on operational use within national weather services*. Vienna, Austria, 15–17 May 1995. WMO/TD No. 670: 41–46.
- Kolektív autorov, 1900, *Ünnepi emlékkönyv az Ó-gyallai M. Kir. Országos Meteorológiai és Földmágnességi Observatórium ünnepélyes felavatása alkalmából*. Budapest: a Hurbanovo: A magyar király országos meteorológiai és földmágnességi intézet, 199 pp.
- Kolektív autorov, 1960, *Klimatické pomery Hurbanova*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 278 pp.
- Konkoly Thege, M., 1898a, A. m. kir. Meteorológiai és Földmágnességi Országos Intézet Budapestén és a M. kir. Meteorológiai és Fizikai Központi Observatórium Ógyallán. A magyar király országos meteorológiai és földmágnességi intézet hivatalos kiadványai – I. zväzok. Budapest: A magyar király országos meteorológiai és földmágnességi intézet, 51 pp.
- Konkoly Thege, M., 1898b, Az ó-gyallai csillagda és a m. kir. meteorológiai központi observatórium fejlődése 1871-től mostanáig. *Időjárás* 2(1): 3–20.
- Konkoly Thege, M., 1899, Néhány külföldi meteorológiai observatóriumról különös tekintettel az Ó-Gyallán épülendő m. kir. meteorológiai központi observatóriumra. *Időjárás* 3(3): 69–96.
- Konkoly Thege, M.–Druga, L., 2012, Spomenka na zakladateľa hvezdárne v Hurbanove – Uhorské (maďarské) kráľovské observatória v Starej Ďale. *Kozmos* 43(2): 36–40.
- Konkoly Thege ml., M., 1933, A téves megfigyeléseknek egy klasszikus esete. *Időjárás* 37(3–4): 36–42.
- Krška, K.–Šamaj, F., 2001, *Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 568 pp.
- Lapin, M.–Pišútová, Z., 1998, Changes of cyclonicity, air pressure and precipitation totals in the 1901–1995 period. *Meteorologický časopis* 1(1): 15–22.
- Lapin, M.–Tomlain, J., 2001, Všeobecná a regionálna klimatológia. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, 184 pp.
- Marczell, G., 1897, Az ó-gyallai meteorológiai és földmágnességi központi observatórium Richard-féle regisztráló (önjelző) műszerei. *Időjárás* 1(8): 225–234.
- Marczell, G., 1898, Az ó-gyallai observatórium legújabb szerzeménye – Az új Sprung-Fuess-féle barográf. *Időjárás* 2(7): 193–199.
- Margules, M., 1897, Vergleichung der Barogramme von einigen Orten rings um Wien. *Meteorologische Zeitschrift* 41(7): 241–253.
- Meteorologické a klimatologické ročenky Uhorska, Československa a Slovenska; rôzne roky a názvy.
- Middleton, W. E. K., 1964, *The history of the barometer*. Baltimore: The Johns Hopkins Press, 489 pp.
- Mojzeš, M., Kalafut, M., 2019, Vertikálne referenčné systémy na území Slovenska a ich vzájomné diferencie. *Geodetický a kartografický obzor* 65/107(8): 177–201.
- Orlic, M., 2007, Andrija Mohorović as a meteorologist. *Geofizika* 24(2): 75–91.
- Petrovič, Š., 1950, Meteorologické pozorovania v Hurbanove, bývalej Starej Ďale. In: SAVU, 1950, *50 rokov štátneho meteorologického a geofyzikálneho observatória v Hurbanove (Starej Ďale)*. Bratislava: Slovenská akadémia vied a umení, 50 s.
- Pišútová, Z., 1995, Predbežná analýza hurbanovského tlakového radu. *Meteorologické zprávy* 48(1): 1–8.
- Purevjav, G.–Balling Jr., R.C.–Cervený, R.S.–Allan, R.–Compo, G. P. a kol., 2015, The Tosontsengel Mongolia world record sea-level pressure extreme: spatial analysis of elevation bias in adjustment-to-sea-level pressures. *International Journal of Climatology* 35(10): 2968–2977.
- Raicich, F.–Colucci, R.R., 2021, A mean-sea-level pressure time series for Trieste, Italy (1841–2018). *Earth System Science Data* 13(7): 3363–3377.
- Réthly, A., 1915, Meteorológiai állomások felülvizsgálásánál szerzett néhány tapasztalat. *Időjárás* 19(3): 41–46.
- Réthly, A., 1928, A regisztráló szalagok leolvasásának megbízhatósága. *Időjárás* 32(9–10): 151–152.

- Réthly, A., 1938, Ógyalla visszatért. *Időjárás* 41(9–10): 219–220.
- Róna, Zs., 1897, A légnyomás a magyar birodalomban 1861-től 1890-ig. Budapest: A királyi magyar természettudományi társulat, 204 pp.
- Róna, Zs., 1909, Éghajlat II. Magyarország éghajlata. Budapest: A királyi magyar természettudományi társulat, 696 pp.
- Rotch, A. L., 1888, The organization of the meteorological service in some of the principal countries of Europe – Austria – The Central Institute for Meteorology and Terrestrial Magnetism. *American Meteorological Journal* 5(2): 49–66.
- Rung, G., 1884, Verbesserungen an Sprung's Waage-Barograph. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 4(9): 318–319.
- Rung, G., 1885, Selvregistrerende meteorologiske Instrumenter. *Det Kongelige Danske videnskabernes selskabs skrifter – Naturvidenskabelig og matematisk afdeling* 3: 345–369.
- Scheel, K., 1895, Prüfung eines Sprung-Fuess'schen Laufgewichtsbarographen neuester Konstruktion. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 15(4): 133–146.
- Slabá, N., 1976, Návod pre pozorovateľov meteorologických staníc ČSSR. Bratislava: Hydrometeorologický ústav, 273 pp.
- Sobíšek, B. (ed.), 1993, Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 594 pp.
- Správy o činnosti meteorologického a geofyzikálneho observatória v Hurbanove (súčasť Správ o činnosti Uhorského kráľovského ústavu pre meteorológiu a zemský magnetizmus); rôzne roky a názvy.
- Sprung, A., 1880, Wagebarograph mit Laufgewicht nach Sprung. In: Loewenherz, L. (ed.), 1880, Bericht über die Wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879. Berlin: Verlag von Julius Springer, 292 pp.
- Sprung, A., 1905, Über Theorie und Praxis des Laufgewichts-Barographen – II. Technische Fragen. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 25(3): 73–82.
- Staničné originálne dokumenty z meteorologických meraní (výkazy, denníky, vyčíslenia registračných prístrojov) observatória v Hurbanove.
- Staničné meteorologické mesačné bulletiny observatória v Hurbanove; rôzne roky a názvy.
- Staničné meteorologické ročenky observatória v Hurbanove; rôzne roky a názvy.
- Steiner, L., 1923, Adatok a légnyomás napi ingadozásához. *Időjárás* 27(9): 125–129.
- SÚM, 1923, Meteorologická a magnetická pozorování na státní hvězdárně v Praze (Klementinum) v letech 1918, 1919 a 1920. Praha: Čsl. Státní ústav meteorologický, 78 pp.
- SÚM, 1928, Státní ústav meteorologický v prvním desetiletí republiky 1918-1928. Praha: Státní ústav meteorologický, 91 pp.
- Tomlajn, J., 1963, Denný chod tlaku vzduchu v Hurbanove a na Lomnickom štíte. *Meteorologické zprávy* 16(2): 32–35.
- Výberči, D.–Faško, P.–Pecho, J.–Bochníček, O.–Csörgei, T.–Babin, L., 2020, O extrémoch redukovaného tlaku vzduchu na Slovensku: najvyššie hodnoty. *Meteorologické zprávy* 73(2): 39–45.
- Výberči, D.–Pecho, J.–Faško, P.–Bochníček, O., 2021, Hurbanovské sídlo vedy nám slúži už 150 rokov. *Meteorologický časopis* 24(1): 52–55.



# INFORMÁCIE INFORMATION

## ZHODNOTENIE DOPADOV SUCHA NA SLOVENSKU V ROKOCH 2021 A 2022

### Zhodnotenie sucha v roku 2021

V roku 2021 bol priemerný ročný úhrn zrážok na Slovensku 761 mm, čo predstavuje takmer 100 % normálu 1991 – 2020. Najvyšší ročný úhrn zrážok bol 1482,3 mm v obci Zuberec-Zverovka a najnižší 410,0 mm v obci Čata. V roku 2021 bol veľmi nízky mesačný úhrn zrážok v marci 1,4 mm v obci Santovka, v júni 0,1 mm v obci Pusté Úľany a 0,1 mm v októbri v obci Sečovce. Podľa monitoringu meteorologického sucha sa výrazné a lokálne až extrémne sucho vyskytlo na jar v marci a v apríli. V máji sme nepozorovali suchu na väčšine staníc, ale v júni a júli bolo extrémne suchu na väčšine územia. V auguste a septembri sa situácia zlepšila, ale extrémne suchu sa objavilo opäť v októbri v Piešťanoch a Senici. Výrazné suchu bolo na jeseň aj na východnom Slovensku. Podľa monitoringu pôdneho sucha, sa začínajúce až výrazné suchu vyskytlo najskôr v marci a v apríli, a to ojedinele na strednom a juhozápadnom Slovensku. V máji nastalo zlepšenie situácie, ale v júni a v júli sa suchu opäť rozšírilo. Extrémne suchu zasahovalo v júli až 3,5 % celkového územia a najviac ohrozené oblasti boli Orava, Kysuce a Horné Považie (Obr. 1). V auguste nastalo zlepšenie, ale suchu sa opäť začalo objavovať v októbri, predovšetkým na Dolnom Zemplíne, kde sme ojedinele pozorovali opäť extrémne suché podmienky. Relatívne nasýtenie bolo v lete pod hranicou 10 % na Podunajskej nížine, Záhorí, Považí, Ponitří, Honte a na jeseň aj na Dolnom Zemplíne. Deficit pôdnej vlhky bol najvyšší v intervale –60 až –100 m, najmä v oblasti Oravy.

Podľa hlásení reportérov Národnej reportovacej siete Intersucho bola odhadovaná strata výnosov v poľnohospodárstve a ovocinárstve vyššia ako 40 % v troch okresoch: Námestovo, Prievidza a Partizán-

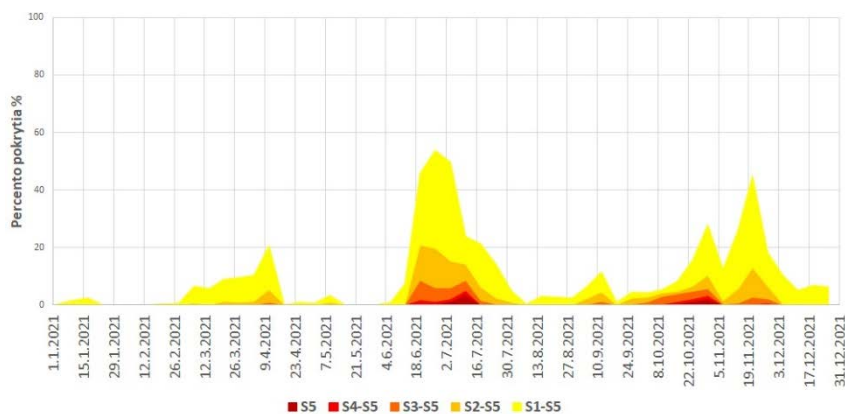
ske. Najviac ohrozené plodiny boli lucerna, ďateľoviny, mak a zelenina.

Lesníci pozorovali zlyhanie výsadby hlavných lesných drevín na Podunajskej nížine, Záhorí, Turci a Liptove (Obr. 2). Jednalo sa hlavne o dreviny: agát, topoľ, dub, javor a smrek. Extrémne nízka zásoba vody v lesných porastoch (obvyklé stanovištia) v roku 2021 bola v okresoch: Senica, Levica, Turčianske Teplice, Rožňava, Vranov nad Topľou, Michalovce a Sobrance.

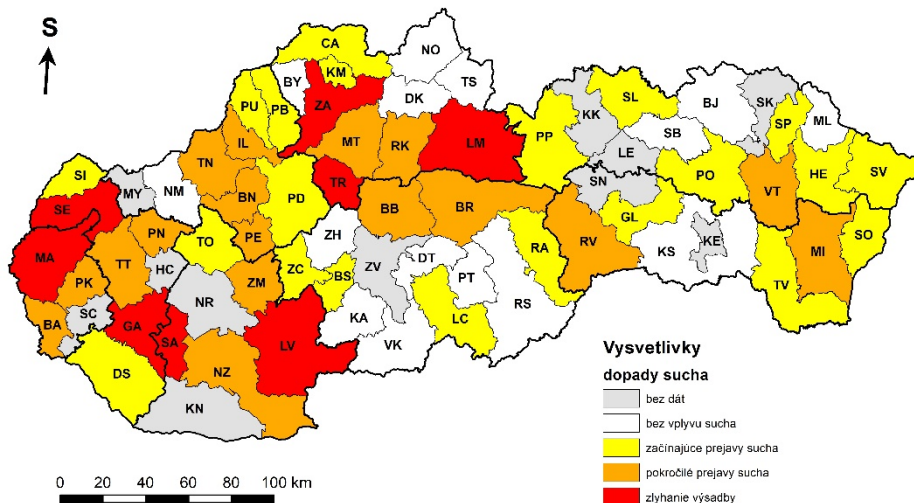
### Zhodnotenie sucha v roku 2022

V roku 2022 boli veľmi nízke úhrny zrážok, do 3 mm v januári a februári na juhu stredného a východného Slovenska, najmä v oblasti Gemera a Abova. V máji bol mesačný úhrn zrážok len 1–2 mm na Dolnom Zemplíne. V auguste bol najnižší úhrn na krajnom východe len 5 mm. Najsuchšie mesiace z pohľadu percenta normálu boli máj a jún, ktoré skončili v súčte ako najsuchšie obdobie od začiatku meraní na väčšine staníc. Podľa monitoringu meteorologického sucha sa extrémne suchu vyskytlo už v januári a februári na juhozápadnom Slovensku, v marci to bolo už na takmer celom území. Od mája do augusta bolo extrémne suchu vo všetkých štyroch mesiacoch na staniách Švedlár a Michalovce, pričom plošne bolo najviac rozšírené v júli 2022.

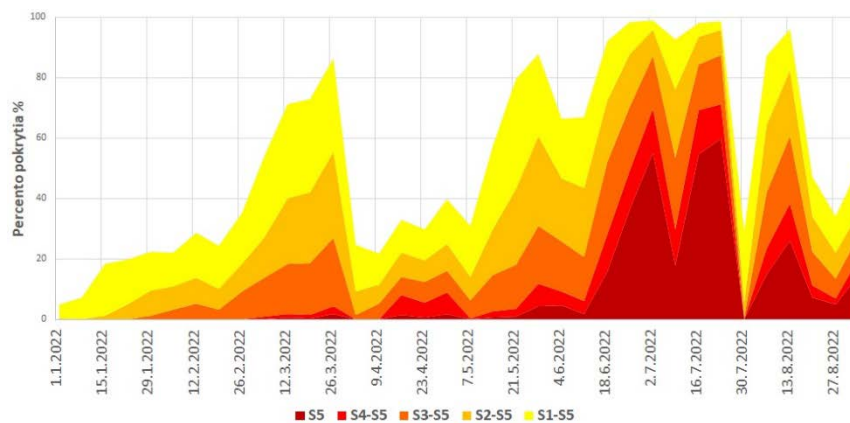
Obrázok 1. Percento zasiahnutého územia vybranými kategóriami sucha v roku 2021.



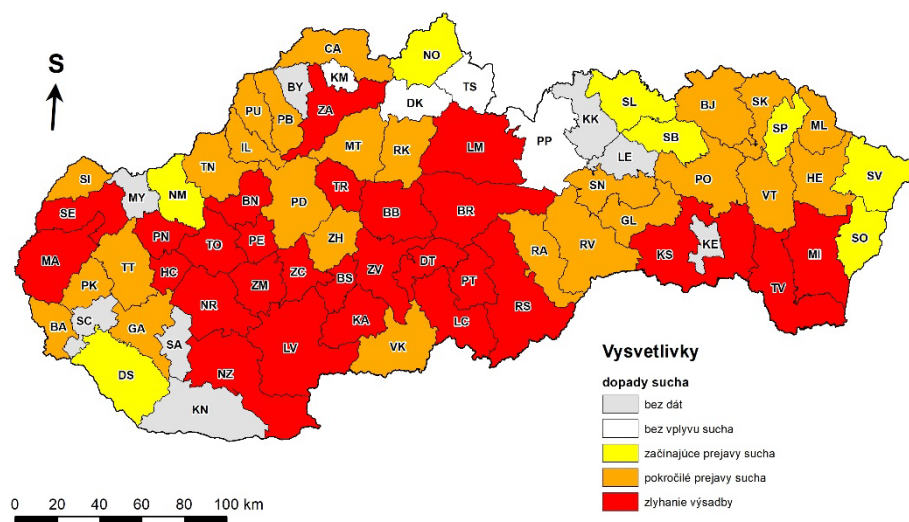
Obrázok 2. Najvýznamnejšie odhadované dopady sucha na obnovu hlavných drevín v roku 2021.



Obrázok 3. Percento zasiahnutého územia vybranými kategóriami sucha v roku 2022.



Obrázok 4. Najvýznamnejšie odhadované dopady sucha na obnovu hlavných drevín do 31. augusta 2022.



Podľa monitoringu pôdneho sucha bolo na konci zimy 2021/2022 a na jar výrazné sucho najmä v južnej polovici Slovenska. Situácia sa postupne od mája zhoršovala a následne aj počas celého leta, pričom najhorší stav bol v druhej

polovici júla, kedy bolo extrémnym suchom zasiahnutých až 60 % územia Slovenska (Obr. 3). Sucho rôznej intenzity bolo na 98 % územia.

Na konci júla sa situácia krátkodobo zlepšila, najmä v povrchovej vrstve, ale v prvej polovici augusta, sa extrémne sucho rozšíriло opäť na takmer tretine územia Slovenska. V septembri nastalo postupné dopĺňanie pôdnej vlhky a extrémne sucho ostalo už len ojedinele na východnom Slovensku. Ku koncu septembra sa vlaha doplnila aj na východe Slovenska a takmer celé územie už bolo v tomto termíne nasýtenie dosahovalo najnižšie hodnoty pod 10 % v druhej polovici júla na viac ako polovici územia, pričom najviac bola zasiahnutá južná polovica Slovenska. Deficit pôdnej vlhky bol -60 až -100 mm v Podtatranskej oblasti, na Kysuciach, v Slovenskom rudohorí a vo Vihorlate.

Podľa hlásení reportérov Národnej reportovacej siete Intersucho bola odhadovaná strata výnosov v roku 2022 v poľnohospodárstve a ovocinárstve vyššia ako 40 % vo väčšine monitorovaných okresoch. Najviac ohrozené plodiny boli: kukurica, trávnaté porasty, lucerna, zemiaky, zelenina, z ovocia najviac jablone a hrušky.

Lesníci pozorovali zlyhanie výsadby hlavných lesných drevín a extrémne nízku zásobu pôdnej vlhky v lesných porastoch vo väčšine okresov na Slovensku (Obr. 4). Sucho sa prejavilo na predčasnom žltnutí listov buka lesného na južných svahoch na juhu stredného

a západného Slovenska. Zlyhanie výsadby sa pozorovalo najmä v listnatých lesoch s porastom buka a duba a ojedinele aj v zmiešaných lesoch.

Maroš Turňa, SHMÚ, Bratislava

## Letná škola COST FAIRNESS

Koncom júna a začiatkom júla (27.6. – 1.7.2022) sa uskutočnila letná škola v rámci COST akcie zameraná na homogenizáciu údajov v sieti mikrometeorologických staníc. V gréckom meste Volos sa vtedy stretlo cca. 25 ľudí z rôznych štátov Európy (niektorí aj mimo Európy) s rovnakým záujmom na riešenie skúmanej problematiky.

Táto akcia bola veľkým prínosom v práci s meteorologickými a klimatologickými údajmi, lebo odbor Klimatologická služba pracuje s obrovským množstvom údajov. Naučili sme sa najsprávnejšie pracovné postupy a praktiky, veľa užitočných metód ako odľahčiť prácu týmito údajmi. Spoznali sme veľa nových technológií, meracích prístrojov (vonkajšie aj vnútorné), aplikácií, webových stránok, kde sú verejne dostupné jednotlivé namerané údaje jednotlivých meteorologických prvkov.

Zámerom školy bolo zlepšiť standardizáciu a integritáciu medzi databázami/súbormi mikrometeorologických meraní, ktoré sú súčasťou výskumných projektov alebo miestnych/regionálnych pozorovacích sietí vytvorených na špeciálne účely (agrometeorológia, monitorovanie mestskej mikroklímy). Účasť bola nevyhnutná na tejto akcii, lebo riešenie identifikovaných výziev si vyžaduje efektívnu cezhraničnú sieť výskumníkov, zainteresovaných strán a občiansku spoločnosť (špecializovanú a širokú verejnosť) z Európy i mimo nej, aby identifikovali a vyplnili medzery v poznatkoch; štandardizovali, optimalizovali a podporovali nové postupy merania a kontroly prispôbené životnému prostrediu, ďalej zvyšovali efektívnosť výskumu a vylepšili jeho šírenie.

Témy letnej školy do seba pekne zapadali. Najprv nám odprezentovali úvodné charakteristiky (história, mikrometeorologické prvky, hierarchia nástrojov, stopa a iné ovplyvňujúce faktory, kvalita dát) a počet mikrometeorologických údajov. Ukázali nám metodiky merania (napr. AWS, lacné senzory, mobilné merania, satelitné merania) pre mikrometeorologické aplikácie a nastavenia mikrometeorologických meraní (výber miesta, inštalácia prístroja a kalibrácia) pre agrometeorologické, lesnícke a urbanistické aplikácie. Spoznali sme rôzne prístupy ku kontrole kvality a vyplňaniu medzier v mikrometeorologických údajoch. V nekonečnom rade nás viedli k férovým údajom pre agrometeorologické, lesnícke a urbanistické aplikácie.

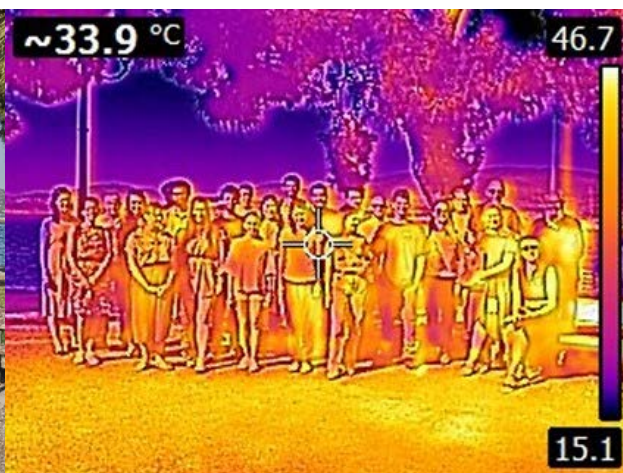
Obsahom praktických úloh bolo predstavenie stanice s Campbell Datalogger so senzormi (meria sa teplota a vlhkosť vzduchu, teplota pôdy a obsah vody/napätie v pôde, vietor, dážď, tepelný tok pôdy, žiarenie, vlhkosť listov); použitie časových radov počasia z osobných meteorologických staníc (PWS) na modelovanie plodín v mestskej a prímestskej poľnohospodárstve; použitie troch snímačov Kestrel 5400 Heat Stress Tracker v mestskej oblasti Volos, kde sme mali aj pobyt (vybrali sme si tri rôzne mestské prostredia), inštalovali sme senzory a nasledovalo minimálne hodinové meranie s porovnaním hodnôt v troch rôznych lokalitách. Potom sme stiahli datasety a vyhodnotili sme údaje. Zamerali sme sa na teplotu vzduchu, relatívnu vlhkosť a rýchlosť vetra.

Mali sme prieskum v teréne. Vyskúšali sme prenosné metodiky na meranie vystavenia osôb a miest tepelnému stresu. To bolo nočné meranie, aby sme mohli skúmať fenomén „mestský ostrov tepla“ v nočných hodinách. Získané údaje sme potom analyzovali, vyhodnotili a vydebatovali sme si ich.

Predstavili nám prípadovú štúdiu PIS, čo znamená detekciu významných biologických udalostí pri ochrane rastlinnej výroby pomocou mikrometeorologických meraní. Vyskúšali sme rôzne nástroje diaľkového snímania pre mikrometeorologické aplikácie - od satelitných snímok po letecké snímky a ručné infračervené kamery. Na to sme potrebovali fotoaparát Fluke TI 300 pro a počítače s príslušnými programami (Python, ArcGIS, GrassGIS). Každý študent stiahol satelitnú snímku a spracovali sme ich pomocou rôznych nástrojov. V neposlednom rade sme mali možnosť sa naučiť zber a spracovanie údajov ERA5.

Posledný deň sme mali poslednú debatu o tom, na koľko sú naše údaje férové. Porozprávali sme sa o tom, aké sú prekážky k ich vylepšeniu a aká je medzera v údajoch a ako ju môžeme vyplniť. Hľadali sme zdroje údajov na vyplnenie tých medzier. Ako je aj vidno, veľa nových vecí sme sa dokázali naučiť za ten pomerne krátky čas, čo nám odzrkadľuje ako kvalitne bola tá akcia vytvorená. Veľká vďaka tým ľuďom, ktorí zorganizovali tú letnú školu a aj tým ktorí sa tam zúčastnili. Bolo skvelé vidieť toľko ľudí, ktorí s radosťou hovorili o svojich výskumoch. Mali sme veľa možností vymeniť si informácie medzi sebou a stále sme všetci v kontakte.

*Kristína Szabóová, SHMÚ, Bratislava*



### 3. ROČNÍK STRETNUTIA S REPORTÉRMÍ DOPADOV SUCHA V TOPOĽČIANKACH

V dňoch 21.–22.9.2022 sa v hoteli na zámku v Topoľčiankach konal 3. ročník diskusného odborného stretnutia „MONITORING A HODNOTENIE DOPADOV SUCHA NA SLOVENSKU – stretnutie s reportérmi z praxe.“

Prvý deň bol venovaný odborníkom z oblasti lesníctva. Podujatie otvorili RNDr. Martin Benko, PhD., generálny riaditeľ SHMÚ a Ing. Tomáš Čuka, výrobnotechnický riaditeľ Lesov Slovenskej republiky, š. p. Prednášková časť bola venovaná zhodnoteniu sucha na Slovensku v rokoch 2021 a 2022, interpretácii dostupných predpovedí počasia a výstupov predpovedných modelov. Ing. Valéria Longauerová a Ing. Andrej Kunca, PhD. Z Lesníckej ochrannárskej služby poukázali na problematiku vývoja lesných požiarov a vplyvu kalamít na ich výskyt na Slovensku.

Druhý deň bol venovaný odborníkom z oblasti poľnohospodárstva a ovocinárstva. Podujatie otvorili Mgr. Branislav Chvíla, PhD., riaditeľ Úseku Meteorologická služba SHMÚ a PhDr. Pavol Štec, pov. vyk. funkcie generálneho riaditeľa Sekcie poľnohospodárstva Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR. Prednášková časť bola venovaná zhodnoteniu sucha, deficitu atmosférických

zrážok na území Slovenska v rokoch 2021 a 2022. Doc. Ing. O. Paulen, PhD. z Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre prezentoval dopady vlhového deficitu na ovocné rastliny a možnosti ich zmierňovania úpravou technológie pestovania.

Súčasťou podujatia bola aj možnosť prehliadky Národného žrebčína v Topoľčiankach a muzeálnej expozície zámku s apartmánmi T. G. Masaryka. Zároveň, ako poďakovanie za dlhodobú a pravidelnú spoluprácu boli odmenení najaktívnejší reportéri. Veríme, že v tradícii stretnutí s našimi reportérmi budeme pokračovať i naďalej v čoraz väčšom počte.

Národnú reportovaciu sieť dopadov sucha tvoria odborníci priamo z poľnohospodárskej, ovocinárskej, vinohradníckej a lesníckej praxe, preto si spoluprácu s nimi veľmi vážime. Zároveň je zaradená a schválená uznesením Vlády Slovenskej republiky č. 110 zo 14. marca 2018 k materiálu H<sub>2</sub>ODNOTA JE VODA - Akčný plán na riešenie dôsledkov sucha a nedostatku vody.

*Gabriela Ivaňáková  
SHMÚ, Bratislava*



### ÚČASŤ NA 17. VÝROČNOM MÍTINGU EURÓPSKEHO POVODŇOVÉHO VAROVNÉHO SYSTÉMU (EFAS)

V dňoch 27.–28.9.2022 sa v severotalianskej Ispre v priestoroch JRC (Joint Research Centre, ktoré predstavuje Spojené výskumné centrum, patriace pod Európsku komisiu) uskutočnil výročný míting Európskeho povodňového varovného systému (EFAS annual meeting). Na stretnutí sa zúčastnili aj zástupcovia SHMÚ. Účasť vyplýva z rámcového kontraktu medzi Európskou komisiou a konzorciom SHMÚ (Slovensko), SMHI (Švédsko), RWS (Holandsko) na Hydrologickom predpovednom centre - Analýzy a distribúcia (DISS) v rámci Služby riadenia núdzových situácií programu Copernicus (Copernicus Emergency Management Service - CEMS).

Deň vopred, 26.9.2022, sa konali bilaterálne mítingy jednotlivých operačných centier EFASu. Posledné dva roky sa spoločné stretnutie kvôli pandémie konalo online, v tomto ročníku zvolili organizátori hydríbnú, kombinovanú formu podujatia. Priamo sa ho zúčastnilo viac ako sedemdesiat účastníkov. Všetky prezentácie a poster z podujatia sú dostupné na platforme EFAS IS na webovej stránke <https://www.efas.eu/en/news/17th-efas-annual-meeting>. Hlavná časť stretnutia pozostávala z prednášok, workshopov a diskusií medzi zúčastnenými odborníkmi. Zástupcovia jednotlivých operačných centier EFASu predstavili svoju činnosť, zmeny od minulého stretnutia a plány na ďalšie obdobie.

SHMÚ je aktívnym členom centra Analytics and Dissemination (DISS), ktoré je zodpovedné za analýzy meteorologickej a hydrologickej situácie v rámci Európy, vydávanie povodňových notifikácií a ich zasielanie EFAS partnerom. Traja hydroológovia (z každého člena konzorcia SHMÚ, SMHI a RWS jeden) sa striedajú v každodennej EFAS službe a monitorujú situáciu predovšetkým v rámci platformy EFAS-IS, ale aj na základe iných dostupných zdrojov, ako napr. z národných webových stránok. Zasielanie povodňových notifikácií EFAS partnerom, ale aj dennej správy Európskemu riadiacemu a koordinačnému centru (ERCC), ktoré je srdcom európskej civilnej ochrany, je dôležitou súčasťou EFAS služby. Okrem toho DISS organizuje stretnutia so svojimi užívateľmi a poskytuje pre partnerov tréningy rôzneho druhu. Dôraz sa kladie na potreby partnerov a ich návrhy, ktorú DISS zbiera a analyzuje možnosti zlepšenia poskytovaných služieb. Aktuálne má EFAS 78 partnerov z rôznych krajín. DISS analyzuje množstvo vydaných notifikácií, ako aj spätné väzby od partnerov na vydané notifikácie. Od apríla 2022 pribudla nová úloha vyžiadania družicového snímkovania v prípade, že je vysoké riziko možného zaplavenia určitého územia v rámci EFAS domény, indikované predovšetkým na základe EFAS predpovedí. Táto služba môže pomôcť pripraviť CEMS Rapid mapping na snímkovanie predpokladaných zatopených území, a tak podporiť činnosti krízového manažmentu počas a bezprostredne po povodni.

### Čo je nové v EFASe?

Meteorologické a hydrologické dátové centrum (MDCC a HDCC) predstavili nové pravidlá validácie a kontroly údajov. Zaviedli sa regióny s podobnými klimatickými charakteristikami za účelom zoskupenia staníc pre výpočet prahových hodnôt, ako aj z dôvodu ich sezónnych zmien. Zaujímavým produktom, ktorý predstavilo JRC, bolo vizualizovanie informácií o povodniach zo sociálnych sietí. Tieto informácie sa automaticky zhromažďujú a zobrazujú počas udalosti v samostatnej vrstve EFAS-IS. Aktualizujú sa každých 30 minút. Regióny sú farebne klasifikované v závislosti od miery dosahov danej informácie (t. j. ako často sa daná udalosť spomína v sociálnych médiách, čo môže indikovať jej závažnosť).

Stredisko pre hydrologické predpovede (COMP) predstavilo nedávne zmeny v rámci operačného systému EFAS-Viewer, nové vrstvy súvisiace s bleskovými povodňami (flash floods) združené v produkte TAMIR. Ďalej to bola zmodernizovaná vrstva „Reporting bodov“ a aktualizovaná CEMS užívateľská príručka.

Bol predstavený nový produkt globálneho monitoringu povodní (Global Flood Monitoring), ktorý je založený na snímkovaní zaplavených oblastí na základe nepretržitej analýzy produktov Sentinel-1.

V systéme EFAS-IS pribudla nová možnosť reportovania tzv. „missed events“, t. j. udalostí, ktoré predpovedný model nezachytil. Zároveň bola zdôraznená dôležitosť spätnej väzby od partnerov na vydané notifikácie, ktorá môže pomôcť odhaliť slabé miesta modelu a tak prispieť k zlepšeniu výsledkov.

Novou informáciou je zlepšenie predpovedí metódou „post-processing“ vo viacerých staniách, ktoré poskytujú aktuálne merané hydrologické údaje. Modelové predpovede upravené uvedenou metódou vzhľadom k aktuálnym údajom sú presnejšie ako výstupy bez post-processingu.

### Novinky od partnerov EFAS

Vybraní traja z mnohých EFAS partnerov v krátkych prezentáciách vysvetlili, ako spolupracujú s EFAS službou. Najzaujímavejší bol príspevok o vývoji hydrologickej služby v Gruzínsku, o predpovediach povodní a systéme včasného varovania v tejto krajine. Hydrometeorologická služba má v Gruzínsku pomerne dlhú históriu. V súčasnosti prevádzkuje približne stopäťdesiat hydrometeorologických staníc, z ktorých väčšina je automatická. Od roku 1950 bol pozorovaný výrazný nárast povodňových udalostí, čím sa ešte viac zdôraznil význam tejto služby.

### Budúcnosť EFASu

Zástupcovia z JRC poskytli všeobecný prehľad o aktuálnom dianí a plánovanom budúcom vývoji služby EFAS. Dôraz je kladený predovšetkým na vyššie priestorové a časové rozlíšenie modelov, ktoré významne ovplyvňuje presnosť výstupov.

*Kolektív Analytics and Dissemination centra so zástupcami z Joint Research Centra počas výročného mítingu EFAS.*



Podrobná prezentácia s názvom „EFAS-next“ priniesla dôležitú informáciu o pripravovanej významnejšej aktualizácii operačného systému EFAS-IS, ktorého priestorové rozlíšenie bude upravené na 1 arcmin (čo zodpovedá približne 1,3 km, momentálne je to 5 km). Počet výpočtových gridových bodov bude 14-krát vyšší oproti súčasnému stavu. V rámci tejto aktualizácie by malo dôjsť k prepracovaniu všetkých dotknutých vrstiev a budú pravdepodobne upravené aj kritériá pre vydávanie notifikácií. Očakáva sa lepšia reprezentácia riečnej siete a lepšie výsledky v predpovedaní udalostí pre menšie povodia, ktoré sú viac zraniteľné prívodnými povodňami.

V rámci EFAS výročného stretnutia bola aj diskusia o význame EFASu vo vzťahu k národným predpovedným službám v európskom priestore. EFAS už teraz ponúka viaceré cenné produkty, ktoré sú pridanou hodnotou pre národné služby. V tomto kontexte je potrebné EFAS vnímať tak, že podporuje prácu národných služieb, môže im poskytovať doplňujúce informácie, ale nemôže ich nahradiť.

### Postery

Posterová časť ponúkala lepšie možnosti na priamu interakciu medzi autormi a publikom v rámci výmeny skúseností a názorov v daných témach. Zaujímavá téma bola spracovaná partnermi zo Švédska, pod názvom „*Impact-based flood warnings in Sweden - Development and first experiences*“ (Nina Bosshard et al.) - Výstrahy pred povodňami s dôrazom na možné dopady vo Švédsku, vývoj a prvé skúsenosti. SMHI začal vydávať okrem výstrah na povodňovú hrozbu aj výstrahy na povodňové riziko.

### Zhrnutie výročného EFAS mítingu

Po dvoch dňoch zaujímavých rozhovorov bolo možné konštatovať, že stretnutia „tvárou v tvár“, sú nenahraditeľnou a potrebnou súčasťou takejto rozsiahlej spolupráce. Prepojenie medzi účastníkmi v rámci neformálnych diskusií, napr. pri káve alebo v posterovej sekcii majú naozaj potenciál niečo zmeniť. Hybridná forma stretnutia je zároveň dobrou príležitosťou pre tých, ktorí sa nemôžu zúčastniť osobne. JRC s operačnými strediskami EFAS vyjadrili snahu aj naďalej spolupracovať a prehľbovať interakcie so všetkými účastníkmi do ďalšieho výročného zasadnutia EFAS.

Ďalšie EFAS výročné zasadnutie sa bude konať v septembri 2023 v Deutscher Wetterdienst v Offenbachu v Nemecku.

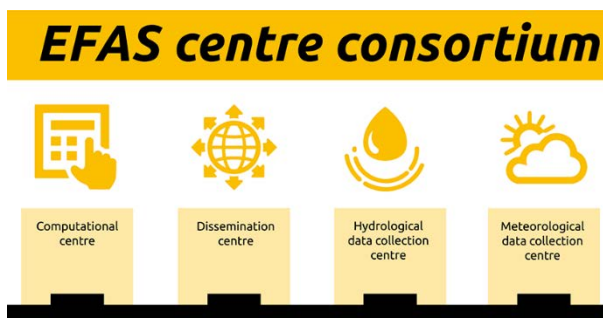
### Úloha, ciele a operačné centrá služby EFAS

V tejto časti sme pre záujemcov poskytli ešte stručné informácie o službe EFAS a jeho operačných centrách, ktoré je možné nájsť tiež na webovej stránke: [www.efas.eu](http://www.efas.eu).

Úlohou služby EFAS (European Flood Awareness System - Európsky povodňový varovný systém) je podpora prípravných opatrení predovšetkým pred rozsiahlejšími, ale aj lokálnymi povodňami v celej Európe. Dôraz je kladený najmä na veľké, nadnárodné povodia.

EFAS je prvým celoeurópskym operačným systémom monitorovania a predpovedania povodní. Príslušným národným a regionálnym orgánom poskytuje doplňujúce informácie s pridanou hodnotou (napr. pravdepodobnostné - ansámblové predpovede, strednodobé prognózy povodní, prognózy bleskových povodní - tzv. flashfloods alebo predpovede možných dopadov na infraštruktúru a obyvateľstvo). Okrem toho EFAS informuje Európske riadiace a koordinačné centrum (ERCC) o prebiehajúcich a prípadných nadchádzajúcich povodňových udalostiach v celej Európe. Od roku 2012 je operačný systém EFAS plne funkčný ako súčasť Copernicus Emergency Management Service (CEMS). Prevádzka EFASu pozostáva zo štyroch centier tvorených rôznymi konzorciami:

Zjednodušená štruktúra operačných centier EFASu.



- **Computation Centre (COMP):** prácu tohoto centra zabezpečuje Európske centrum pre strednodobé predpovede počasia (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF), ktoré vykonáva výpočtové úlohy súvisiace s celým systémom EFAS predpovedí (vrátane prevádzky hydrologického modelu LISFLOOD), analýzy a hodnotenia modelových výstupov a je hositeľom platformy informačného systému EFAS.
- **Analytics and Dissemination (DISS):** Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Rijkswaterstaat (RWS) a Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) na dennej báze analyzuje produkty EFASu a poskytuje spracované informácie EFAS partnerom a ERCC.
- **Hydrological Data Collection Centre (HDCC):** Ghenova digital zhromažďuje historické a aktuálne údaje o prietokoch a vodných stavoch v celej Európe, harmonizuje tieto údaje a robí kontrolu kvality údajov, ktoré potom vstupujú do výpočtového systému EFAS.
- **Meteorological Data Collection Centre (MDCC):** KISTERS AG a Deutscher Wetterdienst dennodenne zhromažďuje a analyzuje 7 mil. údajov rôznych meraných meteorologických charakteristík v rámci celej Európy. Okrem toho zabezpečuje kontrolu kvality údajov a spracovanie údajov do gridových máp s 5 km priestorovým rozlíšením, ktoré sú dôležitým vstupným údajom pre modelovanie.

M. Halaj, SHMÚ, Banská Bystrica  
M. Mikuličková, H. Hlaváčiková, SHMÚ, Bratislava

## METODICKÁ PORADA ODBORU METEOROLOGICKE SIEŤE, 27. – 30. 9. 2022, TELGÁRT

Stretnutie vedúcich profesionálnych meteorologických staníc bývalo organizované tradične každý rok. Pandémia si však aj v tomto prípade vyžiadala dvojročné prerušenie. A tak ľudia, ktorým bola vnútená izolácia z dôvodov zdravotných a ktorí zároveň bežne pracujú izolovane na svojich staniciach, sa naozaj radi zase stretli na živo, ľudsky. Tentoraz na Telgárte. Lebo on je tak nejako v strede a všetci mali k nemu podobne blízko i ďaleko. Len, žiaľ, choroba stále úraduje a poznačila aj účasť na tomto stretnutí.

Program našich metodických porád má už zaužívanú štruktúru, ktorá má vzdelávací, organizačno-koordináčny a aj spoločenský zvrst.

Svoje príhovory a informácie si pripravilo naše vedenie: Branislav Chvíľa, ako vedúci úseku Meteorologická služba a aj Marián Jakubek, ako vedúci odboru. Kolegovia pracujúci mimo Bratislavy vždy uvítajú, keď sa môžu priamo od vedenia dozvedieť o situácii v ústave, o perspektívach a plánoch, ktoré sa ich rovnako týkajú aj v tom najodľahlejšom kúte Slovenska.

V rámci vzdelávacej časti vystúpili naši pozvaní hostia, ktorí bolo ochotní pripraviť pre našich kolegov vystúpenia rozširujúce poznatky z oblasti sledovania javov, ktoré sú predmetom ich profesijného záujmu. Norbert Polčák si vybral tému, ktorá sa pozrela na umiestňovanie meteorologických staníc očami meteorológa, využívajúceho jej merania vo svojej práci. Venoval sa špecifikám mikroklimy, miestnej klímy a topoklimy vo vzťahu k umiestneniu pozorovacích staníc. A v takomto pohľade sa môže javiť ako zaujímavé aj umiestnenie stanice, ktoré nevyjadruje priemerné a charakteristické podmienky oblasti, ale napr. zachytáva práve odľahlé extrémny. Ako má napr. ČHMÚ svoju stanicu na Kvilde s jej extrémnymi teplotnými hodnotami. Pán Polčák zároveň ocenil prácu našich kolegov a poukázal na jej význam v reťazci prípravy finálnych výstupov nášho ústavu.

Gabika Ivaňáková, ktorá sa venuje problémom sucha, si zase zvolila tému Analýza vplyvu sucha na lesné porasty v regióne Oravy v období 2015 – 2021. Voda znamená život. V prípade lesa aj zdravie. Dlhodobé sucho ovplyvňuje zdravotný stav lesa, má dopad na rozširovanie chorôb a ohrozuje les so všetkými jeho významovými funkciami pre človeka, nielen tými priamo hospodárskymi.

Prišiel medzi nás aj dlhoročný vedúci meteorologickej stanice na Chopku Jarko Puchrík, ktorý strávil v našom ústave 42 rokov svojho života. Zaspomínal na dlhé roky svojej práce vo veľmi špecifickom horskom prostredí. Mohlo by budiť závisť v hlavách neinformovaných, ale pracovať na Chopku a prísť tam len na pár hodín v rámci nejakej športovej aktivity, to je rozdiel. Je to kus tvrdej práce, aj dlhých chvíľ strávených na špici hôr len s prístrojmi a pupočnou šnúrou dátových prenosov, ktoré človeka pomyselné spájajú s tým druhým niekde v doline. Sme vďační za takýchto kolegov.

Janka Crmanová sa pozrela na prácu našich meteorologických staníc očami revízora. Kriticky aj pochvalne. Lebo vždy je čo zlepšovať, a preto sú dobré vzťahy s prí-

slušnými revízormi zárukou kvalitných dát, o ktoré sa môžu opierať všetci tí, čo ich potrebujú.

Martin Bludovič sa opätovne venoval údržbe automatických meradiel. Lebo i keď to tak nevyzerá, tak ani automatika sa bez človeka nezaobíde. Aj jemné elektronické čidlá dokáže znefunkčniť hmyz alebo vlhkosť, či zvyšky soli z jesenného zasoľovania zrážkomerov. A treba to opätovne pripomenúť, aby sa nesprávnou nedostatočnou starostlivosťou neznižovala ich funkčnosť a aj doba životnosti. A aby sme sa od teórie, hocijako zaujímavej, zase vrátili do života a každodennej praxe, odviezol nás Martin na našu stanicu nad Telgártom a priamo v záhradke ukázal, predviedol, zdôraznil, poučil ako sa to má robiť. Je na vedúcich staníc, aby to vhodným spôsobom sprostredkovali aj svojim kolegom. A návšteva meteorologickej stanice Telgárt s jej dominantným umiestnením na kopci nad dedinou a výhľadom zo strechy budovy, bola tiež zážitkom. Aj s úctou k histórii tohto miesta, kde sa meria od roku 1946, aj k celému radu pozorovateľov, ktoré sa na tejto stanici vystriedali.

Navštívili sme aj automatickú stanicu Dobšinská ľadová jaskyňa, kde bola ďalšia príležitosť ukázať v praxi ako automatika meria alebo nemia podľa toho, ako sa o ňu staráme. A škoda by bola nevyužiť príležitosť a nenaštívitiť aj samotnú jaskyňu. Bolo už síce po sezóne, ale naši rezortní kolegovia – jaskyniari nás zobrali za svojich a umožnili nám prehliadku jaskyne mimo otváracích hodín aj s výkladom. Ku ktorému sme pripojili aj tie naše vedomosti o mikroklimé jaskyň a výskyte radónu v podzemných priestoroch.

Jedno popoludnie sme venovali prevádzkovým problémom meteorologických staníc, ktorých je vždy dost a je dobré sa nimi zaoberať aspoň občas spoločne, lebo sa dajú využiť skúsenosti kolegov. Darmo, nie sme stavbári ani inštalatéri, ani elektrikári, ale aj o všetky takéto problémy staníc sa musíme starať, takže každá rada, skúsenosť je vítaná. Aj aj konfrontácia požiadaviek vedúcich staníc a finančných možností videných našimi vedúcimi je užitočná.



A nezabudnime ani na spoločenský rozmer takéhoto stretnutia. Účastníci sa väčšinou poznajú dlhé roky. Spája ich však nielen práca, záujem o meteorológiu, ale aj množstvo osobných väzieb, či už ide o kontakty skoro až rodinné, či delenie sa o prebytky úrody alebo skúsenosti zo zakladania ovocného sadu. A keď im k tomu ešte zahrá na husličky náš excelentný hudobník Oto Padyšák, dlhoročný vedúci meteorologickej stanice na Štrbskom Plese, môže byť z toho len radosť a to, čomu sa hovorí dobrý pracovný kolektív. A to na odbore meteorologickej siete máme a tešíme sa z toho.

*Terézia Melicherová  
SHMÚ, Bratislava*

## KONFERENCIA MLADÝCH ODBORNÍKOV NA PÔDE SHMÚ V NOVEMBRI 2022

Slovenský hydrometeorologický ústav zorganizoval 10.11.2022 Konferenciu mladých odborníkov (ďalej KMO). Konferencia prebieha tradične v troch sekciách. Tento rok bola už 34. Konferencia mladých hydroológov, 23. Konferencia mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov v oblasti kvality ovzdušia a 21. Konferencia mladých vodohospodárov. KMO sa po dvoch rokoch konala opäť prezenčnou formou. Konferencie mladých odborníkov sa zúčastnilo do 60 účastníkov, vrátane súťažiacich a porotcov.

Ďalšími organizáciami, ktoré sa podieľali na príprave a priebehu konferencie, a ktorí túto konferenciu aj finančne podporili, boli: International Hydrological Programme of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrologiu, Slovenská meteorologická spoločnosť, občianske združenie, Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, Global Water Partnership Central and Eastern Europe, Slovenská vodohospodárska spoločnosť, člen ZSVTS, Zväz slovenských vedeckotechnických spoločností.

Gestorom **34. Konferencie mladých hydroológov** bol RNDr. Pavol Miklánek, CSc., ako zástupca International Hydrological Programu of UNESCO - Slovenský výbor pre hydrologiu, ktorý bol zároveň aj predseda poroty.

Do súťaže sa zapojilo 10 súťažiacich s 9 súťažiacimi príspevkami, z toho 4 príspevky boli z Českej republiky z Přírodovědecké fakulty v Prahe, 3 príspevky zo Slovenskej republiky z Ústavu hydrologie SAV, 1 zo Stavebnej fakulty STU BA a 1 zo SHMÚ v Bratislave. Jeden príspevok pripravil súťažiaci, pôvodcom z Iránu, pracujúci v SAV na Ústave hydrologie.

Porota po posúdení písomnej časti a prezentácie vybrala tri najlepšie práce bez udania poradia, teda v abecednom poradí:

**Hotový, Ondřej** – Proměny událostí rain-on-snow v horských povodích Česka (*Přírodovědecká fakulta UK, Praha*).

**Labat, Marija Mihaela** – Odhad návrhových kulminačných prietokov použitím SCS-CN metódy a klimatického scenára CLM (*SHMÚ BA, Kvantita povrchových vôd*).

**Okhravi, Saeid** – The use of the Manning equation is not safe for different river styles. What are the alternatives? (*Ústav hydrologie, SAV BA*).



*Vítazi 34. ročníka Konferencie mladých hydroológov s predsedom poroty RNDr. Pavlom Miklánkom, CSc.*

**21. Konferencia mladých vodohospodárov** sa uskutočnila pod gestorstvom Ing. Pavla Hucka, CSc., predsedu Združenia zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve a ujal sa aj funkcie predsedu poroty.

Do súťaže sa zapojilo 5 súťažiacich s 5 súťažnými príspevkami. Tria účastníci boli zo Stavebnej fakulty STU v Bratislave a dvaja príslušníci Českej republiky zo Stavebnej fakulty Vysokého učení technického v Brne.

Tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

**Horáková, Věra** – Infiltrační schopnost půdy a možnost jejího ovlivnění (*VUT v Brně, Fakulta stavební*)

**Paulíková, Lynda** – Bentické organizmy vodných útvarov ako indikátor kvality vody (*STU BA, Stavebná fakulta*)

**Plevková, Miroslava** – Revize kritických bodů a vyhodnocení jejich přispívajících ploch v kontextu evidovaných erozních událostí jako podklad pro návrh přírodně blízkých opatření (*VUT v Brně, Fakulta stavební*)



*Vítazi 21. ročníka Konferencie mladých vodohospodárov s predsedom poroty Ing. Pavlom Huckom, CSc. a organizátorkou, Ing. Danicou Leškovou, PhD.*



Gestorstva **23. Konferencie mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov na kvalitu ovzdušia** sa ujala RNDr. Paulína Valová (SHMÚ BA), predsedníčka Slovenskej meteorologickej spoločnosti, občianskeho združenia. Predsedníčkou poroty bola Mgr. Mária Derková, PhD. (SHMÚ BA).

Túto sekciu reprezentovali štyria súťažiaci so štyrmi súťažnými príspevkami. Jeden účastník bol z Českého hydrometeorologického ústavu v Prahe, ďalší traja zo slovenských pracovísk - dvaja zo SHMÚ v Bratislave a jeden z Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave. Tri najlepšie práce bez udania poradia, v abecednom poradí:

**Rozkošný, Jozef** – Vplyv lokálnych klimatických podmienok na populáciu podkôrnika dubového (*Scolytus intricatus* Ratz.) (SHMÚ BA, Odbor klimatologická služba)

**Šinger, Miroslav** – Vplyv orografie na supercely na Slovensku (SHMÚ BA, OMPaV; Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave)

**Vlach, Vojtěch** – Příčiny a následky požáru na území NP České Švýcarsko v létě 2022 (ČHMÚ Praha, Oddělení biometeorologických aplikací)

V tomto roku sa opäť udelilo špeciálne ocenenie: **Mimoriadna cena poroty - mladý vedecký talent**

**Achbergerová, Barbora** – Zdravotné a experimentálne aspekty radónu a oxidu uhličitého v rodinných domoch (Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave).



Vítazi 23. ročníka Konferencie mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov v oblasti kvality ovzdušia s predsedkyňou poroty Mgr. Máriou Derkovou, PhD. a gestorkou RNDr. Paulínou Valovou.

Súťažné práce sa ponúknu odborným časopisom na publikovanie. Všetky súťažné príspevky, Štatúty, Záznam o KMO, víťazi, História KMO, Fotogaléria a ďalšie informácie o Konferencii mladých odborníkov 2022 sú uverejnené na stránke: <https://kmo.shmu.sk/>. Elektronický zborník (ISBN 978-80-99929-38-9) so súťažnými prácami bude uverejnený takisto na <https://kmo.shmu.sk/>.

Alena Blahová, Danica Lešková, SHMÚ, Bratislava



## ZHODNOTENIE ROKOVANÍ NA 27. KLIMATICKEJ KONFERENCII V EGYPTE, 6. – 20. 11. 2022, ŠARM AŠ-ŠAJCH

Ešte len druhý krát v histórii klimatických konferencií sa stalo, že sa predbežný rozsah musel predĺžiť pretože delegácie nedospeli k dohode podľa pôvodného plánu. Prvý krát sa to stalo v Kodani, v roku 2009, keď delegácie nedospeli k očakávanej dohode o predĺžení Kjótskeho protokolu. Na rozdiel od Kodane, tentokrát sa v horúcom Sinajskom piesku k dohode dospelo, síce až 48 hodín po oficiálnom uzavretí konferencii, ale dohoda nie je ambiciózna a už vôbec nie je spravodlivá pre všetkých. Na začiatku roku 2022 však nič nenasvedčovalo tomu, ako dramaticky bude končiť táto klimatická konferencia. Predchádzajúce Škótske a nadchádzajúce Egyptské predsedníctvo si sľubovalo veľký pokrok pri riešení problémov rozvojových krajín v oblasti adaptácií a zmierňovania následkov klimatickej zmeny. Práve rozvojovej krajiny, malé ostrovné štáty a najmenej rozvinuté regióny čelia veľkým ekonomickým a sociálnym hrozbám v spojitosti s meniacou sa svetovou klímou, rastom hladiny morí a oceánov, nepredvídateľnými obdobiami sucha a zrážok.

Či sa však podarilo naplniť veľké očakávania je diskutabilné. Klimatická konferencia COP27, ktorá prebiehala na pozadí zložitej geopolitickej situácie, vyvrcholila prijatím balíka rozhodnutí, ktorým zúčastnené strany v hlavnom záverečnom rozhodnutí, známom ako Implementačný plán zo Sharm el-Sheikhu, sa zdôrazňuje, že sa očakáva, že celosvetová transformácia na nízkouhlíkové hospodárstvo si vyžiada investície vo výške najmenej 4–6 triliónov USD ročne. Poskytnutie takéhoto financovania si bude vyžadovať rýchlu a komplexnú transformáciu finančného systému, jeho štruktúr a procesov so zapojením vlád, centrálnych bánk, komerčných bánk, inštitucionálnych investorov a iných finančných aktérov.

Vytvorenie osobitného fondu pre straty a škody znamenalo dôležitý pokrok, pričom táto otázka bola pridaná do oficiálnej agendy až na COP27. Vlády prijali prelomové rozhodnutie o vytvorení nových mechanizmov financovania, ako aj špeciálneho fondu na pomoc rozvojovým krajinám pri vysporiadaní sa so stratami a škodami. Vlády sa tiež dohodli, že zriadia „prechodný výbor“, ktorý počas COP28 (v roku 2023 v Spojených arabských emirátoch) vydá odporúčania, ako sfunkčnit' nové mechanizmy financovania a tiež špeciálny fond. Očakáva sa, že prvé zasadnutie prechodného výboru sa uskutoční do marca 2023.

COP27 sa zúčastnilo viac ako 45 000 účastníkov, ktorí si zdieľali myšlienky a riešenia a vytvárali partnerstvá a koalície. Domorodé obyvateľstvo, miestne komunity, mestá a občianska spoločnosť vrátane mládeže a detí diskutovali o zmene klímy a zdieľali, ako ovplyvňuje ich životy. Najmä mladí ľudia dostali na COP27 väčší priestor, pričom výkonný tajomník OSN pre zmenu klímy sľúbil, že bude naliehať na vlády, aby nielen počúvali riešenia predložené mladými ľuďmi, ale aby ich začlenili do rozhodovania a tvorby politiky. Mladí ľudia sa angažovali v rámci pavilónu pre deti a mládež, ako aj vôbec prvého Klimatického fóra vedeného mládežou.

COP27 z hľadiska rámca transparentnosti, čo je agenda v pôsobnosti odboru Emisie a biopalivá, bol doteraz

najúspešnejšou konferenciou, ktorej sa zúčastnili zástupcovia SHMÚ, určite najúspešnejšia od konferencie v Paríži v roku 2015. Všetky body sledovanej agendy boli schválené pod výbormi, žiadna agenda nemusela mať vyhradené extra sloty a všetky záverečné rozhodnutia boli v súlade s predchádzajúcou pozíciou EÚ (samozrejme aj Slovenska). Podarilo sa dokončiť mnohé témy okolo tréningov expertov, metodických príručiek, tabuliek, review a technických otázok budúceho režimu reportovania ročných správ o emisiách (NID) a dvojročných správ (BTR). Napriek tomu, že táto konferencia na Africkom kontinente mala byť zameraná hlavne na prácu s adaptáciami, oblasť mitigácií (znižovania emisií) bola mimoriadne úspešná (na rozdiel od COP26 v Glasgowe, ktorý mal byť zameraný na mitigácie a kde sa nedosiahol skoro žiaden významný pokrok). Adaptácie utrpeli pri vyjednávaniach o financiách, pretože financovanie adaptácií je omnoho drahšie a omnoho ťažšie sledovanejšie ako financie, ktoré prúdia do mitigácií. Tie sa dajú ľahko kvantifikovať a vyhodnotiť. Napriek nepriaznivému vývoju emisií po pandémie COVID-19 je stále možné dosiahnuť len oteplenie o 1,5 °C, na to je však potrebné, aby najväčší emitenti emisií z rozvojových krajín (Čína, India, Brazília), dosiahli svoje maximálne (peak) emisie najneskôr do roku 2025. Všetky rozvinuté krajiny už svoje emisie znižujú (čiže vrchol krivky bol v minulosti), napr. niektoré ČŠ EÚ už v roku 1990 (Slovensko).

*Janka Szemesová  
SHMÚ, Bratislava*

## KONFERENCIA OCHRANA OVZDUŠIA 2022

V dňoch 23. až 25. novembra 2022 sa po dvojročnej prestávke konala v tradičnom termíne a na tradičnom mieste – Štrbské Pleso (hotel Patria) – medzinárodná konferencia OCHRANA OVZDUŠIA, ktorá si počas dlhoročnej existencie získala popularitu a významné miesto v odborných kruhoch.

Po dvojročnom kovidovom období 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 rekordné množstvo prednášajúcich zo Slovenska a z Čiech, prispievateľov z priemyslu a akademického prostredia.

Program odbornej časti konferencie sa rozšíril oproti predchádzajúcim dvom rokom a celkovo odznelo 35 príspevkov v šiestich paneloch v priebehu dva a pol pracovného dňa. Témy konferencie boli nastavené vysoko aktuálne a zahŕňali ako tradične aj nové právne úpravy v oblasti zákona o ovzduší a jeho vyhlášok, novinky v oblasti politiky zmeny klímy, informácie z Klimatickej konferencie v Egypte a novinky v oblasti biopalív, tepelného hospodárstva a nového rozšíreného systému obchodovania s emisnými kvótami v doprave, biomase a budovách, ktorú pripravuje Európske komisia. Nasledovali novinky v priemyselných emisiách, informácie o najlepších dostupných technikách, novinky v IPKZ, 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 biopalív (OEaB) a Odboru monitorovanie kvality ovzdušia (OMKO). 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 odboru Emisie a biopalív, ktoré sa venovali novým informačným systémom pre Národný register znečisťovania ovzdušia (NRZ) a Národný systém pre vykazovanie trvalej udržateľnosti biopalív a biokvapalín (SK BIO), ktoré odprednášala Ing. Monika Jalšovská a Mgr. Lenka Zetochová. Výsledky grantového projektu EUROSTAT-u v oblasti vykazovania emisií z dopravy v rámci Národných účtov, realizované v spolupráci so Štatistickým úradom Slovenskej republiky, predstavil Mgr. Ján Horváth a výsledky štúdie, ktorá analyzovala vstupy do bioplynových staníc a produkciu emisií odprezentovali Ing. Kristína Tonhauzer, PhD. a Ing. Miroslav Vanek, PhD. (Technická univerzita vo Zvolene).

Zamestnanci Odboru modelovania kvality ovzdušia prezentovali na konferencii viacero výsledkov svojej práce. Mgr. Dušan Štefánik, PhD. uviedol prednášku s názvom Využitie modelov Aladin a CMAQ pre operatívnu predpoveď kvality ovzdušia na Slovensku, na ktorej spolupracoval aj Mgr. Juraj Beňo, PhD. V tejto prednáške bolo vysvetlené aké programy bude obsahovať operatívna predpoveď kvality ovzdušia na SHMÚ, a ktoré z nich sú už vyvinuté. Operatívna predpoveď koncentrácií znečisťujúcich látok počítaná na základe tohto procesu by mala byť uvedená do prevádzky v roku 2023.

Mgr. Jana Matejovičová, Ing. Emília Hroncová, PhD., Mgr. Dušan Štefánik, PhD., Mgr. Martin Kremler, PhD. a Mgr. Assa Camara spolu pripravili prezentáciu Prvé výsledky monitorovania kvality ovzdušia z rozšírenej monitorovacej siete NMSKO, ktorú predniesol doktor Kremler. V prezentácii boli ukázané výsledky meraní problematických znečisťujúcich látok z nových staníc NMSKO, ktoré boli umiestnené v rokoch 2020-2022 do obcí so zlou kvalitou ovzdušia, či na nedostatočne pokryté územia Slovenska.

Mgr. Jana Krajčovičová, PhD. vystúpila s prednáškou Emisie z lokálnych kúrenísk na Slovensku – aktualizácia podľa SODB 2021, v ktorej popísala metódu prípravy emisných vstupov pre modely s vysokým rozlíšením. Tie sa v týchto prípadoch počítajú metódou zdola-nahor. Pre túto metódu je nutné poznať počty obývaných domov a ich spôsob vykurovania pre čo najmenšie územné jednotky. Tieto informácie boli zozbierané v rámci sčítania obyvateľstva v roku 2021 a v súčasnosti Štatistický úrad SR pracuje na príprave vhodného formátu týchto dát pre SHMÚ.

Na konferencii boli predstavené aj postery viacerých účastníkov z SHMÚ, OMKO reprezentoval poster s názvom Určenie zdrojov znečistenia ovzdušia modelom CMAQ pre stanice NMSKO, ktorý vypracovala Mgr. Tereza Šedivá v spolupráci s Mgr. Dušanom Štefánikom, PhD. Ide o prvé určenie zdrojov regionálnym modelom pre celé územie SR s 2x2 km rozlíšením a poskytuje približný náhľad na podiel koncentrácií PM<sub>2,5</sub> a NO<sub>2</sub> z jednotlivých emisných odvetví SR na staniách NMSKO. OEaB reprezentoval poster

Ing. Kristíny Tonhauzer, PhD., ktorý sa venoval výsledkom prieskumu chovania králikov na Slovensku a podiel emisií z ich chovu v porovnaní s celkovými emisiami zo živočíšnej výroby. Druhý poster sa venoval priebežnému zhrnutiu doterajších výsledkov OEaB v projekte LIFE IP – Zlepšenie kvality ovzdušia na Slovensku, ktorý pripravila Ing. Zuzana Jonáček.

Konferencia Ochrana ovzdušia bola a je vždy vyvrcholením odborného a vedeckého roka v oblasti zabezpečenia dobrej kvality ovzdušia na Slovensku a jej prínos sa neobmedzuje len na výmenu informácií s kolegami z iných oblastí a medzinárodného prostredia, ale aj na spoločenské a sociálne nadviazanie kontaktov. V neposlednom rade, je aktívna účasť na konferencii aj možnosťou na overenie správnosti výsledkov, prediskutovanie a získanie odborných názorov na výsledky projektov, štúdií a analýz. Samozrejme je, že konferencia poskytuje aj možnosti doplniť si informácie, získať odborné znalosti a vedomosti a tak prispieť aj zvýšeniu know-how zamestnancov SHMÚ.

Mediálnym partnerom konferencie bol znovu aj náš Meteorologický časopis.

*Janka Szemesová, Tereza Šedivá  
SHMÚ, Bratislava*

## **ČINNOSŤ SLOVENSKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI, OBČIANSKEHO ZDRUŽENIA, V ROKU 2022**

Slovenská meteorologická spoločnosť (SMS), občianske združenie, v roku 2022 pokračovala v spolupráci so SHMÚ v organizovaní prednáškových popoludní online formou – spočiatku aj pre pretrvávajúcu epidemiologickú situáciu v súvislosti s ochorením COVID-19.

Do novembra 2022 sme zorganizovali 4 prednášky na rôzne témy (cestná doprava, radiačný monitoring, fenologický monitoring, hydrologický seminár). Pri príležitosti Svetového dňa vody a Svetového meteorologického dňa sme v marci zorganizovali samostatný online seminár. Prednášky prebiehali v podvečerných hodinách a boli určené pre širokú verejnosť a prispôbené tak, aby im rozumeli nielen odborníci, ale aj úplní laici, ktorých tá či oná oblasť hoci len okrajovo zaujíma.

Obzvlášť zaujímavým podujatím bola na konci novembra 2022 prednáška Prof. Niny Nikolovej z Univerzity Sv. Klimenta Ohridského v Sofii, Bulharsko, s názvom: „Extreme climate and weather events in Bulgaria - impact and adaptation in agriculture“ (v angličtine).

Mimoriadnou udalosťou aj pre SMS bolo ocenenie prof. Milana Lapina štátnym vyznamenaním Radom Ľudovíta Štúra II. triedy, ktoré prevzal z rúk prezidentky SR Zuzany Čaputovej dňa 8.5.2022. Ocenenie prof. Lapin získal za jeho výrazný celoživotný vedecký príspevok na poli meteorológie a klimatológie, ako aj za jeho pedagogické a propagačné aktivity, zvlášť v čase naliehavého riešenia dôsledkov klimatickej zmeny. Prof. Lapin je dlhoročným členom SMS, kde pôsobil aktívne aj ako jeden z jej predsedov. Opätovne mu srdečne blahozeláme a prajeme pevné zdravie.

Ďalším dôležitým bodom práce SMS bolo Valné zhromaždenie SMS, ktoré sa konalo v júni 2022. Okrem zhodnotenia práce SMS za uplynulé 5-ročné obdobie bolo významným krokom schválenie nových stanov SMS, v ktorých sa okrem iných novínok zmenil názov spoločnosti (Slovenská meteorologická spoločnosť, občianske združenie), jej sídlo a ďalšie novinky, ktoré vyplynuli z nedávnej spoločenskej i epidemiologickej situácie.

Na Valnom zhromaždení bol zvolený nový Hlavný výbor a dvom dlhoročným členom SMS bolo za ich veľký prínos pre SMS i meteorologickú a klimatologickú obec ude-

lené čestné členstvo SMS (prof. RNDr. Milan Lapin, CSc. a RNDr. Gabriel Szabó, CSc.).

V roku 2022 sa začala obnova webových stránok SMS, ktorá stále pokračuje. V budúcnosti spoločnosť plánuje vytvoriť profil na Facebook-u.

Informácie o pripravovaných podujatiach SMS pravidelne a včas zverejňujeme v spolupráci so SHMÚ na webových stránkach SMS ([www.slovakmeteo.sk](http://www.slovakmeteo.sk)) a SHMÚ ([www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)).

*Paulína Valová  
predsedníčka HV SMS, občianske združenie*

# PERSONÁLIE

## PERSONALS

### OPUSTILA NÁS IRENA MICHLÍKOVÁ

Dňa 8. 9. 2022 nás nečakane po krátkej chorobe opustila Irena Michlíková. Tí z nás, ktorí ju stretávali ako kolegyňu, budú mať vždy pri vyslovení jej mena na myslí inteligentnú, elegantnú dámu, s darom irónie aj sebaíronie, ktorá vie riešiť problémy s pokojom a odstupom.

Irena Michlíková sa narodila 27. novembra 1951 v Prešove, študovala na angličtinu a ruštinu na Fakulte prekladateľstva a tlmočníctva Univerzity Komenského v Bratislave a po úspešnom ukončení štúdia v roku 1975 nastúpila do práce do Slovenského hydrometeorologického ústavu, kde pracovala v odbornej knižnici až do svojho odchodu do dôchodku. Pri svojej práci aj v súkromí bola vždy ústretová a ochotná pomôcť.

Keď Irena Michlíková po viac než tridsiatich rokoch práce v knižnici a archíve Slovenského hydrometeorologického ústavu odišla do dôchodku, mnohým z nás chýbala možnosť stretávať sa s ňou na chodbách SHMÚ. Ďalej však pokračovala v práci jazykovej redaktorky pre slovenčinu aj angličtinu v Meteorologickom časopise.

V spomienkach ostáva s nami Irena Michlíková ako statočný človek, empatická spolubesedníčka a inteligentná žena so zmyslom pre iróniu.

*Jana Matejovičová  
SHMÚ, Bratislava*

### ZOMREL prof. DUŠAN PODHORSKÝ, Dr.Sc.

15. septembra 2022 nás navždy opustil H.E., Multi - prof. h.c. RNDr. Dušan Podhorský Dr.Sc. Všestranný entuziastický človek, excelentný vedec a manažér, na zenite kariéry tiež

diplomat a spisovateľ. Odborná komunita si ho pamätá hlavne ako zakladateľa slovenskej a československej rádioradionovej meteorológie. Na Slovenskom hydrometeorologickom ústave strávil viac ako 25 rokov, práci venoval všetko, je autorom a spoluautorom viac ako 200 vedeckých prác a 5 monografií. S meteorológiou v praxi sa potom stretával aj ako riaditeľ Tatrairu a aj Slovairu. S SHMÚ aktívne spolupracoval až do posledných dní života, popri odbornej činnosti tiež ako člen Atestačnej komisie.

Viac podrobností k jeho ceste pracovným životom možno nájsť v Meteorologickom časopise 2021/1.

Češť jeho pamiatke!

*Pavol Nejedlík*

### ZOMREL Ing. ŠTEFAN ŠKULEC, CSc.

Začiatkom novembra nás navždy opustil bývalý generálny riaditeľ SHMÚ Ing. Štefan Škulec, CSc. V Slovenskom hydrometeorologickom ústave pôsobil od nástupu do praxe v roku 1968 až do dôchodku v roku 2007. Aj na dôchodku bol mimoriadne aktívny, naďalej sa venoval popularizácii a propagácii modernej fyziky, meteorológie a klimatológie.

Bol neoddeliteľnou súčasťou redakčnej rady Meteorologického časopisu od jej začiatkov až po súčasnosť. Jeho nadhľad, múdrosť a nadšenie inšpirovali celú redakčnú radu nášho časopisu.

Viac informácií o Ing. Štefanovi Škulecovi, CSc. sme uverejnili v časopise 2020/1 pri príležitosti jeho 75. narodenín.

Češť jeho pamiatke!

*Norbert Polčák  
predseda redakčnej rady MČ*

## POKYNY PRE AUTOROV

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

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

na e-mailovú adresu [norbert.polcak@shmu.sk](mailto:norbert.polcak@shmu.sk)  
a kópiu na adresu [katarina.pukancikova@shmu.sk](mailto: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](mailto:norbert.polcak@shmu.sk)  
and copy to [katarina.pukancikova@shmu.sk](mailto: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

