EV 340/25/EPP
eISSN 2730-1028

# METEOROLOGICKÝ ČASOPIS
# METEOROLOGICAL JOURNAL

2025
ROČNÍK 28 - ČÍSLO 2
VOLUME 28 - NUMBER 2

SHMÚ
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

Meteorologický časopis publikuje pôvodné vedecké práce z teoretického a aplikovaného výskumu, prehľadové články a krátke informácie z vedných odborov meteorológie, klimatológie, hydrológie, chemizmu atmosféry, znečistenia ovzdušia a numerického modelovania. Meteorologický časopis akceptuje aj príspevky z príbuzných vedeckých disciplín, napr. kvalita vody, vodné hospodárstvo, ekohydrológia, technika merania a diaľkový prieskum Zeme. Meteorologický časopis ako periodikum vychádza dvakrát ročne. Všetky zaslané príspevky sú recenzované dvoma nezávislými a anonymnými recenzentmi. Časopis je dostupný bezplatne na http://www.shmu.sk/sk/?page=31.

The Meteorological Journal publishes original research papers and comprehensive reviews in all the subfields of the applied and theoretical research on meteorology, climatology, hydrology, atmospheric chemistry, air pollution, and numerical modelling. Relevant topics incorporating the related disciplines such as water quality, water resources management, eco-hydrology, instrumentation, and remote sensing are within scope. The Meteorological Journal is published twice a year. All submitted manuscripts are reviewed by two independent and anonymous reviewers (single-blind peer review). Journal is available free of charge at http://www.shmu.sk/en/?page=31.

## REDAKČNÁ RADA – EDITORIAL BOARD

**Šéfredaktor – Editor-in-Chief**
Jaroslava Slavková, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
jaroslava.slavkova@shmu.sk

**Zástupca šéfredaktora – Associate Editor**
Maroš Turňa, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
maros.turna@shmu.sk

**Členovia redakčnej rady – Handling editors**
Martin Benko, PhD., Czech Hydrometeorological Institute
Branislav Chvíla, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Michal Danko, PhD., Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Liptovský Mikuláš, Slovakia
Mária Derková, PhD., Bratislava, Slovakia
Pavol Faško, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Marcel Garaj, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Prof. Martin Hanel, PhD., Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Prague, Czechia
Hana Hlaváčiková, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Prof. Kamila Hlavčová, PhD., Faculty of Civil Engineering STU, Bratislava, Slovakia
Prof. Silvia Kohnová, PhD., Faculty of Civil Engineering STU, Bratislava, Slovakia
Martin Kremler, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Lívia Labudová, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Prof. Milan Lapin, PhD, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Slovakia
Ondřej Ledvinka, Ph.D., Czech Hydrometeorological Institute, Prague, Czechia
Danica Lešková, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Katarína Mikulová, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Prof. Juraj Parajka, PhD., TU Wien, Vienna, Austria
Assoc. Prof. Petr Pišoft, Ph.D., Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, Czechia
Norbert Polčák, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Anna Pribullová, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Gánovce, Slovakia
Zora Snopková, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Banská Bystrica, Slovakia
Janka Szemesová, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Miroslav Šinger, PhD. Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Prof. Bernand Šiška, PhD, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia
Prof. Jaroslav Škvarenina, PhD, Technical University in Zvolen, Slovakia
Radim Tolasz, PhD., Czech hydrometeorological institute, Ostrava, Czechia
Jozef Vivoda, European Centre for Medium range Weather Forecast (ECMWF)
Roman Výleta, PhD., Faculty of Civil Engineering STU, Bratislava, Slovakia

**Technická redaktorka – Assistant Editor**
Katarína Pukančíková, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
katarina.pukancikova@shmu.sk

## VYDAVATEĽ – PUBLISHER

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, november 2025
Jeséniova 17, P. O. Box 15, 833 15 Bratislava 37
IČO 00 156 884
EV 340/25/EPP
eISSN 2730-1028

# METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

# METEOROLOGICAL JOURNAL

**2025**

**Ročník 28 – Číslo 2**

**Volume 28 – Number 2**

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

# CONTENTS

**TROPICAL NIGHTS IN SLOVAKIA IN 2024 IN CLIMATOLOGICAL CONTEXT**
Jozef Pecho, Dalibor Výberči, Pavol Faško, Branislav Chvíla ..... 81

**REGIONAL FREQUENCY ANALYSIS OF DAILY AND MULTI-DAY RAINFALL FROM THE PERSPECTIVE OF THE ERGODICITY THEOREM**
Milan Onderka ..... 89

**SITING CLASSIFICATION OF METEOROLOGICAL STATIONS OF THE SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE FOR SELECTED METEOROLOGICAL ELEMENTS ACCORDING TO THE WMO METHODOLOGY**
Karol Seják ..... 103

**THE USE OF PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE IN OPERATIONAL METEOROLOGICAL PRACTICE AT SHMÚ**
Cyril Siman ..... 119

**COMPARISON OF NITRA, TRNAVA AND TRENČÍN NUTS-3 REGIONS IN TERMS OF AIR QUALITY IN 2023 AND 2024**
Michal Mladý ..... 129

## INFORMATION

**Project CAMS National Collaboration Programme – Slovakia (CAMS NCP)**
Jana Krajčovičová, Dušan Štefánik ..... 137

**28th snow meeting**
Katarína Slivková ..... 141

**Meeting of members of the Slovak and Hungarian Meteorological Societies in Hurbanovo in May 2025**
Paulína Valová ..... 142

**PERSONALS** ..... 143

# OBSAH

**TROPICKÉ NOCI NA SLOVENSKU V ROKU 2024 V KLIMATOLOGICKÝCH SÚVISLOSTIACH**
Jozef Pecho, Dalibor Výberči, Pavol Faško, Branislav Chvíla ..... 81

**REGIONÁLNA FREKVENČNÁ ANALÝZA DENNÝCH A VIACDENNÝCH ÚHRNOV DAŽĎA Z POHĽADU TEORÉMY ERGODICITY**
Milan Onderka ..... 89

**KLASIFIKÁCIA UMIESTNENÍ METEOROLOGICKÝCH STANÍC SLOVENSKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU PRE VYBRANÉ METEOROLOGICKÉ PRVKY PODĽA METODIKY WMO**
Karol Seják ..... 103

**MOŽNOSTI VYUŽITIA PROGRAMOVACIEHO JAZYKA PYTHON V OPERATÍVNEJ PREVÁDZKE OMPAV SHMÚ**
Cyril Siman ..... 119

**POROVNANIE NITRIANSKEHO, TRNAVSKÉHO A TRENČIANSKEHO KRAJA Z HĽADISKA KVALITY OVZDUŠIA V ROKU 2023 A 2024**
Michal Mladý ..... 129

## INFORMÁCIE

**Projekt CAMS National Collaboration Programme – Slovakia (CAMS NCP)**
Jana Krajčovičová, Dušan Štefánik ..... 137

**28. ročník stretnutia snehárov**
Katarína Slivková ..... 141

**Stretnutie členov Slovenskej a Maďarskej meteorologickej spoločnosti v máji 2025 v Hurbanove**
Paulína Valová ..... 142

**PERSONÁLIE** ..... 143

# TROPICKÉ NOCI NA SLOVENSKU V ROKU 2024 V KLIMATOLOGICKÝCH SÚVISLOSTIACH

**Jozef Pecho[1,2], Dalibor Výberči[3], Pavol faško[1], Branislav Chvíla[1]**

[1] *Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava*
[2] *Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava*
[3] *941 62 Kmeťovo, daliborvyberci@protonmail.com*

***Climatologically perhaps the most noticeable weather phenomenon in Slovakia in the warmest part of the year 2024 were tropical nights. In this paper, we present detailed time-spatial assessment of those nights in the given season using the true identification of tropical nights based on nighttime minimum air temperature. There were more than 30 tropical nights in Bratislava, around 20 in the southeastern Slovakia, and their occurrence was in-mass also in many other places and regions with altitude up to 650 m above sea level. Highest number of tropical nights, including very long series, was recorded in mid-July and mid-August, but the situation became even more accentuated by reason of the heat wave at the end of August and in the first ten-day period of September. In the end, plenty of related climatological extremes have been registered, with the values of new records being set with a large margin compared to the previous ones in many cases. The extraordinary 2024 season clearly represents another shift in the occurrence of tropical nights in our country to a new level.***

***Klimatologicky azda najnápadnejším poveternostným javom na Slovensku v najteplejšej časti roka 2024 boli tropické noci. V tomto príspevku prinášame podrobné časovo-priestorové zhodnotenie danej sezóny uvedených nocí s využitím pravej identifikácie tropických nocí podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu. V Bratislave bolo vyše 30 tropických nocí, na juhovýchode Slovenska okolo 20 a ich hromadný výskyt bol aj na mnohých iných miestach a regiónoch, vrátane stredných výškových polôh. Najviac tropických nocí, vrátane veľmi dlhých sérií, bolo zaznamenaných v polovici júla a polovici augusta, situácia však ešte vygradovala vo vlne horúčav na konci augusta a v prvej dekáde septembra. V konečnom dôsledku bolo zaregistrovaných množstvo súvisiacich klimatologických extrémov, pričom hodnoty nových rekordov boli v mnohých prípadoch ustanovené s veľkým odstupom v porovnaní s dovtedajšími. Nevídaná sezóna tropických nocí 2024 celkom jednoznačne predstavuje ďalší posun vo výskyte daného javu u nás na novú úroveň.***

***Key words: tropical night, nighttime minimum temperature, weather extremes, heat, Slovakia***

## ÚVOD

Rok 2024 sa do klimatologických štatistík na Slovensku zapísal spôsobom vzbudzujúcim značnú pozornosť. Podľa základnej teplotnej charakteristiky, priemernej ročnej teploty vzduchu, išlo totiž v rámci nášho územia o suverénne najteplejší rok v histórii príslušnej či už priestorovej, alebo staničnej evidencie (Mikulová a kol., 2024; SHMÚ, 2025).

Jedným z najnápadnejších prejavov teplého počasia v najteplejšej časti roka 2024 bol enormný výskyt tropických nocí, teda nocí, ktoré sú charakterizované dosiahnutým minimom teploty vzduchu s hodnotou 20,0 °C alebo vyššou. V minulosti bola podrobnejšia analýza tropických nocí na Slovensku súčasťou prípadových štúdií v kontexte význačných letných sezón v rokoch 1992 (Krška a Racko, 1993), 1994 (Krška a Racko, 1996) a 2015 (Bochníček a kol., 2015). V sezóne 2024 však výskyt tropických nocí už na prvý pohľad dosahoval v mnohých aspektoch nevídané proporcie.

Vzhľadom k celkovej mimoriadnosti načrtnutej situácie, lokálne s dosahovaním veľmi výrazných klimatologických extrémov, sme v tejto práci pripravili detailnejšie časovo-priestorové hodnotenie výskytu tropických nocí na území Slovenska v roku 2024. V prípadovej analýze sme použili pravé identifikovanie tropických nocí na základe špecifickej charakteristiky nočnej minimálnej teploty vzduchu (Jůza, 2017; Výberči a kol., 2023). Okrem obšírnejšieho základného spracovania pre zhruba sto klimatologických staníc sme analýzu doplnili a predmetnú situáciu stručnejšie vyhodnotili aj v súbore zrážkomerných staníc s doplnkovým meraním teploty vzduchu. Dlhodobé súvislosti prezentujeme pre základné klimatologické stanice s najdlhšími príslušnými časovými radmi. Ďalší historický kontext diskutujeme na základe publikovanej literatúry a archívnych údajov z niektorých zaznamenaných udalostí približne od obdobia 2. svetovej vojny.

## POUŽITÝ MATERIÁL A METODIKA SPRACOVANIA

Pre analytickú časť práce boli spracované údaje z klimatologických meraní na meteorologických staniciach Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) s klimatologickým programom pozorovaní (ďalej len: klimatologické stanice), a taktiež údaje z automatických zrážkomerných staníc s doplnkovým meraním teploty vzduchu. Okrem toho boli z archívu SHMÚ v Bratislave-Kolibe špeciálne spracované niektoré historické údaje z originálnych dokumentov z pozorovaní klimatologických staníc.

https://doi.org/10.62699/mj28.2x.41
Available online: November 30, 2025

Primárnu analyzovanú meteorologickú charakteristiku predstavovala *nočná minimálna teplota vzduchu*, definovaná ako najnižšia dosiahnutá hodnota teploty vo výške 2 m nad zemským povrchom od večerného (o 21. h stredného miestneho slnečného času [SMČ]) do následného ranného (o 7. h SMČ) klimatologického termínu merania vrátane (Slabá, 1976; Sobíšek, 1993; Jůza, 2017; Výberči a kol., 2023). Formálne poznamenávame, že nočná minimálna teplota priradená dňu *d* v oficiálnej evidencii označuje minimum dosiahnuté v noci medzi večerným termínom predchádzajúceho kalendárneho dňa *d*-1 a daného dňa *d*, teda napr. nočná minimálna teplota pre 15. júl je nameraná v noci zo 14. na 15. júla.

V niektorých prípadoch, obzvlášť pri historickej evidencii pred rokom 1971, mohli byť údaje o nočnej minimálnej teplote vzduchu získané z národného spravodajstva INTER. Pritom však upozorňujeme, že tieto tzv. „interové" údaje majú len charakter operatívnych, ergo nevalidovaných údajov. Podrobnejšie historické okolnosti evidencie nočnej minimálnej teploty na Slovensku, ako aj ďalšie formality súvisiace s touto špecifickou charakteristikou, možno nájsť v našej predchádzajúcej práci (Výberči a kol., 2023).

Doplňujúcu analyzovanú charakteristiku predstavovala celodenná minimálna teplota vzduchu, v štandardizovanej terminológii známa ako „minimálna denná teplota vzduchu", t. j. najnižšia dosiahnutá hodnota teploty medzi dvoma večernými klimatologickými termínmi merania vrátane. Táto charakteristika bola využitá predovšetkým pre komparatívne a overovacie účely, ale ojedinele aj ako zástupný údaj v prípade nedostupnosti, resp. nemožnosti určenia údaju o nočnej minimálnej teplote. Celodenné minimum teploty nie je ideálnou charakteristikou pre hodnotenie nočného času, predovšetkým preto, že je ovplyvnené (zahŕňa v sebe) aj hodnotou teploty na začiatku ďalšej noci (Jůza, 2017).

Na staniciach, na ktorých bolo klimatologické meranie minimálnej teploty vzduchu realizované tradičným/konvenčným spôsobom na analógových extrémnych teplomeroch v meteorologickej búdke, mal, tak ako je v slovenskej praxi štandardné, údaj z tohto merania v evidencii prednosť pred údajom podľa automatického merania. Na staniciach s výlučne automatickým meraním je údaj určený z podrobnejších čiastkových (minútových) nameraných hodnôt okamžitej teploty vzduchu.

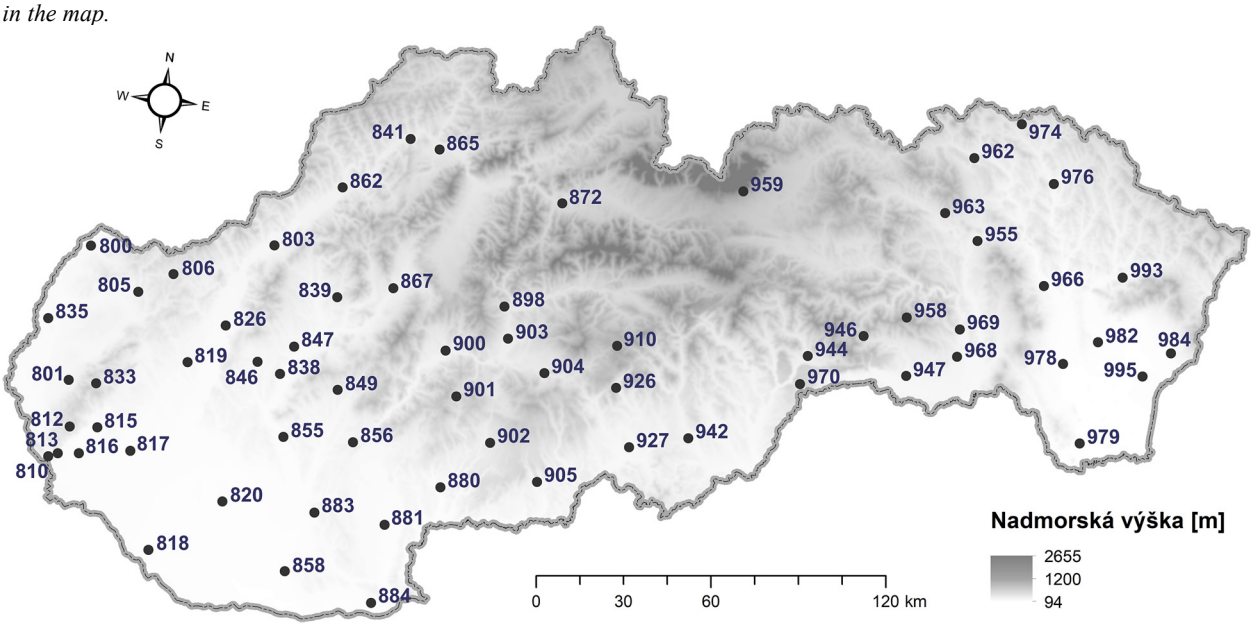
Použité údaje boli spracované štandardným postupom s viacnásobným (prinajmenšom dvojitým) overením a následnou elimináciou logických chýb. Prípadné sporné hodnoty boli expertne posudzované a ustálené. V niekoľkých prípadoch došlo po posúdení k vylúčeniu nespoľahlivého údaju (zjavný chybový údaj, prípadne údaj z nekompletných čiastkových hodnôt).

## VÝSLEDKY

V nasledujúcich podkapitolách je podrobnejšie opísaný výskyt tropických nocí (ďalej aj skratkovite: TN) v roku 2024 v súbore všetkých 101 v danom čase prevádzkovaných klimatologických staníc na Slovensku. K tomuto ťažiskovému vyhodnoteniu sú v poslednej podkapitole výsledkovej časti pripojené vybrané najpodstatnejšie informácie podľa doplňujúceho merania teploty vzduchu na automatických zrážkomerných staniciach.

***Obrázok 1. Poloha klimatologických staníc, na ktorých sa v roku 2024 vyskytla aspoň jedna tropická noc podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu (Tab. 1), v rámci hypsometrie Slovenska. V mape sú zobrazené skrátené (11NNN) staničné indikatívy WMO.***

*Figure 1. Location of the climatological stations, at which at least one tropical night based on nighttime minimum air temperature was registered in 2024 (see Tab. 1), within the hypsometry of Slovakia. Truncated (11NNN) stations WMO identificators are shown in the map.*



***Tabuľka 1. Základná štatistika početnosti a intenzity tropických nocí podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu na klimatologických staniciach na Slovensku v roku 2024. Uvedené sú iba stanice, na ktorých sa vyskytla aspoň jedna tropická noc. ↑Tnn označuje najvyššiu zaznamenanú hodnotu nočnej minimálnej teploty vzduchu [°C], S→ trvanie najdlhšej série v dňoch.***

*Table 1. Basic statistics of number and intensity of tropical nights based on nighttime minimum air temperature at the climatological stations in Slovakia in 2024. Only stations with at least one registered tropical night are presented. ↑Tnn denotes the highest registered value of nighttime minimum temperature in °C, S→ the duration of the longest series in days.*

| id | názov stanice<br>station name | nadm. výška<br>altitude [m] | jún | | júl | | august | | september | | celá sezóna | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | počet | ↑Tnn | počet | ↑Tnn | počet | ↑Tnn | počet | ↑Tnn | počet | S→ | ↑Tnn |
| 800 | Holíč | 170 | 3 | 22,6 | 4 | 22,2 | 5 | 23,1 | 1 | 21,0 | 13 | 2 | 23,1 |
| 801 | Kuchyňa | 205 | 2 | 24,1 | 6 | 25,8 | 6 | 24,3 | 6 | 24,0 | 20 | 6 | 25,8 |
| 803 | Trenčín-Biskupice | 204 | 2 | 21,1 | 2 | 22,0 | 3 | 20,1 | 0 | | 7 | | 22,0 |
| 805 | Senica | 231 | 1 | 22,0 | 7 | 21,9 | 5 | 21,2 | 2 | 20,6 | 15 | 3 | 22,0 |
| 806 | Myjava | 345 | 1 | 22,2 | 2 | 20,6 | 2 | 21,0 | 1 | 20,8 | 6 | | 22,2 |
| 810 | Bratislava-Mlynská dolina | 180 | 3 | 23,9 | 8 | 24,4 | 11 | 23,6 | 6 | 23,4 | 28 | 5 | 24,4 |
| 812 | Malý Javorník | 581 | 2 | 21,0 | 6 | 22,0 | 11 | 23,5 | 3 | 21,1 | 22 | 5 | 23,5 |
| 813 | Bratislava-Koliba | 287 | 2 | 23,1 | 12 | 23,2 | 15 | 23,5 | 5 | 22,1 | 34 | 8 | 23,5 |
| 815 | Slovenský Grob | 140 | 1 | 20,7 | 10 | 22,8 | 5 | 22,0 | 0 | | 16 | 4 | 22,8 |
| 816 | Bratislava-letisko | 133 | 2 | 22,3 | 15 | 23,7 | 12 | 23,5 | 2 | 20,6 | 31 | 10 | 23,7 |
| 817 | Kráľová pri Senci | 123 | 2 | 21,7 | 7 | 21,7 | 2 | 21,9 | 0 | | 11 | 3 | 21,9 |
| 818 | Gabčíkovo | 114 | 3 | 22,9 | 11 | 22,1 | 4 | 21,2 | 0 | | 18 | 4 | 22,9 |
| 819 | Jaslovské Bohunice | 174 | 2 | 22,0 | 6 | 21,6 | 5 | 21,5 | 2 | 21,3 | 15 | 3 | 22,0 |
| 820 | Žihárec | 112 | 3 | 22,6 | 8 | 23,1 | 5 | 21,6 | 2 | 21,1 | 18 | 3 | 23,1 |
| 826 | Piešťany (letisko) | 163 | 3 | 23,8 | 8 | 21,6 | 5 | 21,9 | 2 | 23,5 | 18 | 4 | 23,8 |
| 833 | Modra-Piesok | 533 | 1 | 20,2 | 5 | 21,0 | 6 | 22,3 | 0 | | 12 | 2 | 22,3 |
| 835 | Moravský Svätý Ján | 155 | 1 | 25,5 | 3 | 21,4 | 1 | 20,8 | 1 | 21,3 | 6 | | 25,5 |
| 838 | Kamanová | 154 | 2 | 22,0 | 4 | 22,2 | 4 | 24,0 | 2 | 20,9 | 12 | 3 | 24,0 |
| 839 | Uhrovec | 243 | 1 | 21,5 | 1 | 20,0 | 0 | | 0 | | 2 | | 21,5 |
| 841 | Dolný Hričov | 309 | 0 | | 1 | 20,3 | 1 | 20,0 | 0 | | 2 | | 20,3 |
| 846 | Veľké Ripňany | 182 | 1 | 20,0 | 9 | 22,0 | 5 | 22,0 | 3 | 20,5 | 18 | 4 | 22,0 |
| 847 | Topoľčany | 176 | 1 | 22,0 | 8 | 21,8 | 1 | 21,4 | 0 | | 10 | 3 | 22,0 |
| 849 | Žikava | 319 | 2 | 21,6 | 6 | 23,1 | 7 | 21,8 | 1 | 20,5 | 16 | 3 | 23,1 |
| 855 | Nitra-Janíkovce | 135 | 3 | 22,5 | 9 | 23,1 | 5 | 22,0 | 2 | 22,3 | 19 | 4 | 23,1 |
| 856 | Mochovce | 260 | 2 | 21,4 | 9 | 23,0 | 6 | 22,3 | 2 | 20,3 | 19 | 3 | 23,0 |
| 858 | Hurbanovo | 112 | 3 | 23,2 | 11 | 23,7 | 6 | 22,6 | 2 | 20,9 | 22 | 5 | 23,7 |
| 862 | Beluša | 255 | 1 | 20,1 | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 20,1 |
| 865 | Žilina | 358 | 1 | 22,2 | 1 | 21,1 | 0 | | 1 | 21,4 | 3 | | 22,2 |
| 867 | Prievidza | 260 | 2 | 23,0 | 6 | 22,4 | 2 | 21,5 | 1 | 20,0 | 11 | 3 | 23,0 |
| 872 | Ružomberok-Štiavnička | 507 | 1 | 20,4 | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 20,4 |
| 880 | Dudince | 139 | 1 | 21,5 | 6 | 22,7 | 2 | 21,2 | 2 | 21,0 | 11 | 3 | 22,7 |
| 881 | Želiezovce | 137 | 2 | 22,1 | 8 | 23,5 | 6 | 22,2 | 2 | 21,7 | 18 | 3 | 23,5 |
| 883 | Veľké Lovce | 186 | 2 | 22,2 | 11 | 23,6 | 10 | 23,0 | 6 | 22,0 | 29 | 9 | 23,6 |
| 884 | Mužla | 120 | 3 | 22,5 | 11 | 23,9 | 6 | 22,6 | 0 | | 20 | 8 | 23,9 |
| 898 | Banská Bystrica-Zelená | 429 | 0 | | 2 | 20,4 | 1 | 21,0 | 0 | | 3 | | 21,0 |
| 900 | Žiar nad Hronom | 262 | 1 | 20,7 | 1 | 21,0 | 1 | 20,1 | 0 | | 3 | | 21,0 |
| 901 | Banská Štiavnica | 570 | 0 | | 1 | 20,3 | 0 | | 0 | | 1 | | 20,3 |
| 902 | Bzovík | 353 | 2 | 21,2 | 4 | 22,0 | 1 | 21,1 | 1 | 20,0 | 8 | 2 | 22,0 |
| 903 | Sliač (letisko) | 313 | 1 | 20,7 | 1 | 21,3 | 0 | | 0 | | 2 | | 21,3 |
| 904 | Vígľaš-Pstruša | 368 | 0 | | 1 | 20,3 | 0 | | 0 | | 1 | | 20,3 |
| 905 | Dolné Plachtince | 192 | 1 | 21,0 | 4 | 21,5 | 3 | 20,7 | 1 | 20,2 | 9 | 2 | 21,5 |
| 910 | Lom nad Rimavicou | 1017 | 0 | | 1 | 20,3 | 0 | | 0 | | 1 | | 20,3 |
| 926 | Málinec | 356 | 1 | 20,4 | 4 | 21,4 | 3 | 21,5 | 0 | | 8 | 2 | 21,5 |
| 927 | Boľkovce | 214 | 1 | 20,5 | 5 | 21,5 | 2 | 20,3 | 0 | | 8 | 2 | 21,5 |
| 942 | Rimavská Sobota | 215 | 1 | 20,8 | 4 | 20,7 | 0 | | 0 | | 5 | 2 | 20,8 |
| 944 | Rožňava | 311 | 1 | 20,1 | 3 | 22,0 | 3 | 22,0 | 0 | | 7 | 2 | 22,0 |
| 946 | Štós-kúpele | 589 | 1 | 20,6 | 6 | 21,8 | 3 | 21,0 | 0 | | 10 | 2 | 21,8 |
| 947 | Moldava nad Bodvou | 215 | 1 | 20,4 | 4 | 22,0 | 4 | 22,4 | 0 | | 9 | 3 | 22,4 |
| 955 | Prešov-vojsko | 308 | 0 | | 2 | 20,7 | 0 | | 0 | | 2 | | 20,7 |
| 958 | Kojšovská hoľa | 1247 | 0 | | 1 | 20,0 | 0 | | 0 | | 1 | | 20,0 |
| 959 | Tatranská Polianka | 977 | 0 | | 1 | 20,4 | 0 | | 0 | | 1 | | 20,4 |
| 962 | Bardejov | 311 | 0 | | 1 | 21,0 | 0 | | 0 | | 1 | | 21,0 |
| 963 | Jakubovany | 409 | 0 | | 1 | 23,3 | 0 | | 0 | | 1 | | 23,3 |
| 966 | Čaklov | 136 | 1 | 20,0 | 8 | 22,1 | 4 | 20,8 | 1 | 20,4 | 14 | 3 | 22,1 |
| 968 | Košice-letisko | 230 | 2 | 20,7 | 10 | 23,0 | 4 | 22,0 | 1 | 21,4 | 17 | 4 | 23,0 |
| 969 | Košice-Podhradová | 244 | 0 | | 7 | 21,7 | 3 | 21,9 | 1 | 20,9 | 11 | 3 | 21,9 |
| 970 | Silica | 526 | 2 | 20,4 | 8 | 22,4 | 6 | 20,9 | 0 | | 16 | 8 | 22,4 |
| 974 | Roztoky | 410 | 0 | | 1 | 20,8 | 0 | | 0 | | 1 | | 20,8 |
| 976 | Tisinec | 216 | 0 | | 3 | 21,0 | 0 | | 0 | | 3 | | 21,0 |
| 978 | Trebišov-Milhostov | 103 | 1 | 20,2 | 10 | 21,8 | 5 | 21,5 | 1 | 21,3 | 17 | 7 | 21,8 |
| 979 | Somotor | 101 | 1 | 20,0 | 11 | 22,3 | 9 | 21,8 | 1 | 21,1 | 22 | 6 | 22,3 |
| 982 | Michalovce | 110 | 2 | 20,3 | 11 | 22,0 | 5 | 21,3 | 1 | 20,4 | 19 | 8 | 22,0 |
| 984 | Orechová | 127 | 1 | 20,2 | 5 | 23,6 | 0 | | 0 | | 6 | 3 | 23,6 |
| 993 | Kamenica nad Cirochou | 175 | 0 | | 5 | 22,3 | 0 | | 0 | | 5 | 2 | 22,3 |
| 995 | Vysoká nad Uhom | 105 | 2 | 20,4 | 11 | 22,8 | 3 | 21,0 | 0 | | 16 | 9 | 22,8 |

## Jún

Prvú TN v roku 2024 sme na území Slovenska zaregistrovali 19. júna na štyroch staniciach na západe nášho územia. Hneď nasledujúca noc 20. júna bola lokálne prvou tropickou pre zmenu na východnom Slovensku (Východoslovenská nížina). Prvá TN v rámci stredoslovenského regiónu bola zaznamenaná o ďalšie dva dni neskôr, t. j. 22. júna. TN sa v júni 2024 vyskytli aj v polohách nad 500 m n. m. s presahom do stredných polôh (Malý Javorník, Modra-Piesok, Ružomberok-Štiavnička, Štós-kúpele, Silica).

Najvyššiu tropickú hodnotu nočnej minimálnej teploty vzduchu 25,5 °C sme zaznamenali 30. júna 2024 v Moravskom Svätom Jáne (Obr. 2); z pohľadu predmetnej charakteristiky ide s najväčšou pravdepodobnosťou o najteplejšiu staničnú noc na Slovensku v mesiaci jún aspoň od roku 1961. Bola to zároveň prvá tzv. supertropická noc (minimum ≥ 25,0 °C; Lapin a kol., 2016) na Slovensku v sezóne. Niektoré stanice zaznamenali v priebehu mesiaca svoju rekordne teplú júnovú noc: Bratislava-letisko aspoň od roku 1939, či Sliač (letisko) historicky od roku 1944.

V júni 2024 sme v sieti klimatologických staníc napokon zaregistrovali kalendárne spolu 7 TN. V prípade dvoch z nich bol zaznamenaný plošne rozsiahly výskyt: noc 22. júna bola tropická na 33 (32,7 % staníc), noc 30. júna na 28 staniciach (27,7 %). Najviac TN v mesiaci (3) sa vyskytlo na 8 staniciach v západoslovenskom regióne (Tab. 1). Niektoré stanice zaznamenali nový alebo vyrovnaný rekord najväčšieho júnového počtu TN, napr. Hurbanovo prinajmenšom od roku 1945, alebo Piešťany (letisko) prinajmenšom od roku 1971.

## Júl

V júli 2024 bolo v klimatologickej staničnej sieti zaregistrovaných dohromady 21 kalendárnych dní s TN. TN sa v júli vyskytovali vo všetkých exponovanejších regiónoch a lokalitách Slovenska, a to veľmi početne (Tab. 1). Z „netradičnejších" lokalít je pozoruhodné spomenúť zaznamenanie TN v Banskej Štiavnici (17. júla), Lome nad Rimavicou (16. júla) a na úpätí Tatier (Tatranská Polianka, 11. júla). Najvyššie, a to aj v rámci úplne celej sezóny, bol však zaznamenaný výskyt TN v horách, a to na Kojšovskej holi v nadmorskej výške vyše 1200 m (11. júla). Až 47 (46,5 %) staníc zaznamenalo TN 17. júla, 11. a 16. júla to bolo 42 (41,6 %) staníc a plošne výraznejší výskyt TN aspoň na 10 staniciach bol zaznamenaný spolu počas 12 nocí.

V Kuchyni boli zaznamenané ďalšie 2 supertropické noci: 10. júla s hodnotou nočnej minimálnej teploty vzduchu 25,8 °C, ktorá bola zároveň na Slovensku celoplošne najteplejšou staničnou nocou mesiaca aj celej sezóny (Tab. 1), a 28. júla (25,0 °C). Historicky najteplejšia júlová noc sa vyskytla napr. v Dudinciach od roku 1971, alebo Boľkovciach, kde to bola dokonca absolútne najteplejšia noc od roku 1960.

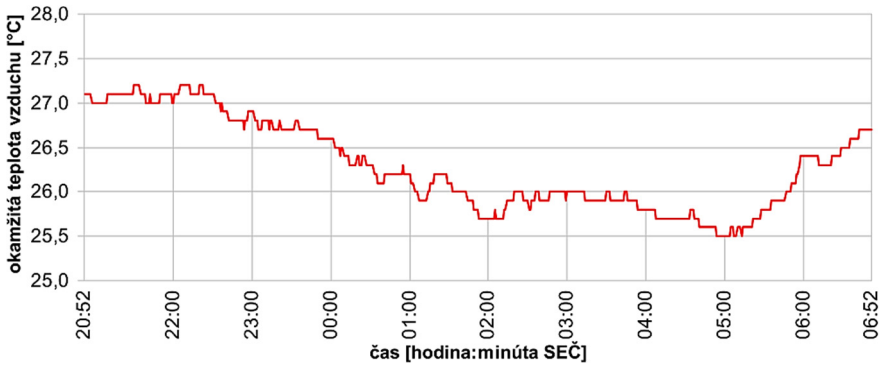
Najväčší počet TN v júli 2024 bol dosiahnutý na stanici Bratislava-letisko (15), na ďalších 11 staniciach to bolo aspoň 10 TN (Tab. 1). Mesačný počet TN bol rekordne veľký pre mnohé stanice, pričom posun hodnoty rekordu bol lokálne veľmi výrazný: napr. na spomenutej stanici Bratislava-letisko z 8 na 15, Piešťany (v prípade oboch staníc prinajmenšom od roku 1971) zo 4 na 8, a podľa všetkého (zatiaľ absentuje komplexnejšie spracovanie historických údajov) aj na východe územia, napr. v Trebišove-Milhostove z 5 na 11, či Tisinci z 1 na 3. Nepochybne viaceré stanice pritom dosiahli absolútne najväčší mesačný počet TN spomedzi všetkých kalendárnych mesiacov, čo platí napr. aj pre Hurbanovo (11; prekonaných 8 za júl 2015) s príslušným časovým radom údajov prinajmenšom od roku 1945.

## August

V auguste 2024 sme na aspoň jednej z klimatologických staníc zaznamenali TN spolu v 23 dňoch, pričom sa početne vyskytovali ešte aj v poslednej dekáde až do konca mesiaca. Na najväčšom počte 34 staníc (33,7 %) sa TN vyskytla 17. augusta, plošne výraznejší výskyt TN aspoň na 10 staniciach bol zaznamenaný v 10 augustových kalendárnych dňoch. Výskyt tropických nočných miním v priebehu mesiaca bol vo všetkých tradične exponovaných regiónoch a výškovo, obdobne ako v júni, ohraničený do zhruba 600 m n. m. (Tab. 1).

Najteplejšia staničná noc v mesiaci z pohľadu dosiahnutej hodnoty nočnej minimálnej teploty vzduchu (Tab. 1) bola 25. augusta 2024 (Kuchyňa 24,3 °C, Kamanová 24,0 °C).

Najväčší počet TN v auguste 2024 (Tab. 1) bol dosiahnutý na stanici Bratislava-Koliba (15), na ďalších 4 staniciach na juhozápade Slovenska to bolo aspoň 10 TN, na zvyšku územia najviac 9 v Somotore na Východoslovenskej nížine. Niektoré stanice opäť dosiahli nový alebo vyrovnaný rekord najväčšieho mesačného počtu TN, spomeňme napr. Hurbanovo prinajmenšom od roku 1945, Bratislava-Koliba




***Obrázok 2.***
***Minútový priebeh okamžitej teploty vzduchu počas klimatologickej noci 30. júna 2024 na stanici Moravský Svätý Ján.***

*Figure 2.*
*Actual air temperature recorded at 1-minute interval during the climatological night on 30 June 2024 at the Moravský Svätý Ján station. Times are CET.*

a Piešťany prinajmenšom od roku 1971. Na stanici na bratislavskom letisku bol tento rekord, podľa údajov aspoň od roku 1971, prekonaný opäť veľmi výrazne, jeho hodnota vzrástla zo 6 na 12 TN.

### September

Najneštandardnejšia situácia v predmetnej sezóne TN nastala v septembri. V minulosti už v tomto prvom jesennom mesiaci boli ojedinelé TN na Slovensku viackrát zaznamenané, v roku 2024 bol však ich výskyt početný (Tab. 1), keď sa pravidelne vyskytovali až do konca výraznej vlny horúceho počasia, ktorá sa začala ešte v poslednej dekáde augusta. TN bola v septembri 2024 niekde v klimatologickej staničnej sieti zaznamenaná v každom z prvých deviatich dní mesiaca, pričom v troch z nich boli predmetné noci zaznamenané na väčšom počte staníc: 1. septembra na 13 (12,9 %), 5. septembra na 15 (14,9 %) a 8. septembra na 14 (13,9 %) staniciach. Prevažná väčšina prípadov sa vyskytla na západe Slovenska, boli však zaregistrované aj inde: 1. septembra na 6 staniciach vo východoslovenskom regióne, alebo 9. septembra, kedy ukončili celú sezónu TN 4 prípady na strednom Slovensku. TN sa vyskytovali dominantne v polohách do nadmorskej výšky zhruba 350 m, vyššie boli zaznamenané len na Malom Javorníku v Malých Karpatoch.

Najvyššia staničná hodnota nočnej minimálnej teploty vzduchu v septembri 2024 (Tab. 1) bola 24,0 °C v Kuchyni 5. septembra, čím bol vyrovnaný doterajší (Piešťany, 5. septembra 2011) celoslovenský septembrový, a súčasne aj jesenný extrém aspoň od roku 1961. Niektoré stanice zaregistrovali svoju vôbec prvú TN v septembri/na jeseň: napr. Košice-letisko (od roku 1922), Prievidza (1972), alebo Dudince (1971), kde boli dokonca hneď 2 TN. Popritom pre ďalšie stanice bola zaznamenaná historicky najvyššia septembrová/jesenná hodnota nočného minima: napr. Bratislava-letisko od roku 1922, Trebišov-Milhostov od roku 1930, Bratislava-Koliba od roku 1950.

Najväčší počet TN v septembri 2024 (Tab. 1) mali stanice Kuchyňa, Bratislava-Mlynská dolina a Veľké Lovce (6). Pochopiteľne, boli zaznamenané rekordy najväčšieho septembrového počtu TN: o. i. tiež v Hurbanove prinajmenšom od roku 1945, či Bratislave-Kolibe, Bratislave-letisku a Piešťanoch zhodne prinajmenšom od roku 1971.

### Celosezónne štatistiky

V sezóne TN 2024 na slovenských klimatologických staniciach sa aspoň jeden prípad takejto noci vyskytol spolu počas 60 kalendárnych dní. Ako je zrejmé z predchádzajúcich podkapitol, výskyt TN (Tab. 1) bol regionálne aj výškovo veľmi pestrý, keď aspoň jedna TN sa vyskytla na 65 zo 101 (64,4 %) staníc, ale najmä mimoriadne až extrémne početný. Najväčší počet TN bol, ako býva bežné, zaznamenaný na stanici Bratislava-Koliba (34), no pozoruhodná situácia v tomto kontexte bola aj v regiónoch na ostatnom území, napr. v Somotore na Východoslovenskej nížine bolo až 22 TN, na juhu stredného Slovenska okolo 10 (Dudince 11, Dolné Plachtince 9, atď.). Enormne veľký počet TN bol okrem nižších polôh zaregistrovaný aj vo vyvýšených lokalitách a na svahových zónach (Bratislava-Koliba, Veľké Lovce, Žikava), pričom aj v nadmorskej výške nad 500 m (Malý Javorník, Modra-Piesok, Silica, Štós-Kúpele).

Na množstve staníc bola dosiahnutá rekordná hodnota najväčšieho celkového (ročného) počtu TN s markantným, niekde priam až závratne veľkým odstupom: z vybraných staníc napr. v Bratislave-letisku došlo oproti predchádzajúcemu rekordu k posunu hodnoty zo 14 na 31, v Piešťanoch to bolo z 8 na 18, v Hurbanove z 15 na 22, v Boľkovciach zo 4 na 8, v Trebišove-Milhostove zo 7 na 17, atď.

### Sériový výskyt

Aspoň jedna súvislá séria za sebou idúcich TN v priebehu sezóny 2024 sa vyskytla na 44 (43,6 %) klimatologických staniciach (Tab. 1). Prvé staničné série TN v sezóne sa vyskytli 21. – 22. júna na piatich staniciach na Podunajskej nížine. Prvé z trojice období s výskytom výrazne dlhých sérií TN sa začalo na konci prvej dekády júla a v rámci neho sa vyskytla aj najdlhšia zaznamenaná, 10-dňová staničná séria na bratislavskom letisku (Tab. 2). Veľmi pozoruhodná v tejto perióde však bola aj dĺžka sérií na viacerých staniciach na východnom Slovensku (až do 9 dní), vrátane zaznamenaného prípadu v Silici (8 dní) na planine Slovenského krasu v nadmorskej výške vyše 500 m. Ďalšie veľmi dlhé neprerušené sledy TN boli zaregistrované na západe Slovenska vo vlne vysokých teplôt v polovici augusta. Obzvlášť neobvyklá situácia však nastala vo vlne na konci augusta a začiatku septembra, v ktorej sme zaznamenali ďalšie výrazne dlhé série TN s kulmináciou vo Veľkých Lovciach s trvaním 9 dní. V tejto vlne sa pritom vyskytli aj 3- až 5-dňové série aj na východnom Slovensku, či 5-dňová séria na Malom Javorníku na hrebeni Malých Karpát (takmer 600 m n. m.). Výlučne v rámci septembra sa do štatistík ako najdlhšia zapísala až 6-dňová séria TN v Kuchyni.

***Tabuľka 2. Najdlhšie zaznamenané série za sebou idúcich tropických nocí podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu na klimatologických staniciach na Slovensku v roku 2024. Uvedené sú prípady s trvaním aspoň 5 dní.***

*Table 2. Longest series of consecutive tropical nights based on nighttime minimum air temperature at the climatological stations in Slovakia in 2024. Only cases with a duration of at least 5 days are presented.*

| id | názov stanice | dátum začiatku | dátum konca | trvanie [dni] |
|---|---|---|---|---|
| 816 | Bratislava-letisko | 9.VII. | 18.VII. | 10 |
| 995 | Vysoká nad Uhom | 10.VII. | 18.VII. | 9 |
| 883 | Veľké Lovce | 28.VIII. | 5.IX. | 9 |
| 884 | Mužla | 10.VII. | 17.VII. | 8 |
| 970 | Silica | 10.VII. | 17.VII. | 8 |
| 982 | Michalovce | 10.VII. | 17.VII. | 8 |
| 813 | Bratislava-Koliba | 10.VIII. | 17.VIII. | 8 |
| 816 | Bratislava-letisko | 12.VIII. | 19.VIII. | 8 |
| 978 | Trebišov-Milhostov | 12.VII. | 18.VII. | 7 |
| 979 | Somotor | 12.VII. | 17.VII. | 6 |
| 801 | Kuchyňa | 3.IX. | 8.IX. | 6 |
| 858 | Hurbanovo | 13.VIII. | 17.VIII. | 5 |
| 979 | Somotor | 26.VIII. | 30.VIII. | 5 |
| 812 | Malý Javorník | 28.VIII. | 1.IX. | 5 |
| 810 | Bratislava-Mlynská dolina | 2.IX. | 6.IX. | 5 |
| 813 | Bratislava-Koliba | 2.IX. | 6.IX. | 5 |

Mnohé stanice v sezóne 2024 zaznamenali svoju absolútne najdlhšiu súvislú sériu TN (Tab. 1): v Hurbanove bol vyrovnaný príslušný rekord prinajmenšom od roku 1939, v Piešťanoch ustanovený nový prinajmenšom od roku 1951, v Trebišove-Milhostove prinajmenšom od roku 1952, atď. S veľkým odstupom bol ustanovený nový rekord najdlhšieho sledu za sebou idúcich TN napr. na stanici Bratislava-letisko (z 5 na 10 dní) prinajmenšom od roku 1951.

### Doplnok – situácia na zrážkomerných staniciach

Na niektorých automatických zrážkomerných staniciach sú v súčasnosti doplnkovo vykonávané aj merania teploty vzduchu. Táto osobitná množina staníc však nie je zriadená a spravovaná za účelom klimatologických meraní, z čoho vyplývajú možné osobitné (menšie) nároky na prevádzku týchto staníc (najmä umiestnenie stanice) v porovnaní s klimatologickými. Namerané teplotné údaje z tejto siete sa tak nezaraďujú do klimatologickej evidencie, a je potrebné ich vnímať s patričnou obozretnosťou predovšetkým ako informatívne. V každom prípade nám ale tieto môžu pri odborných hodnoteniach slúžiť ako určitý doplnok k údajom z klimatologických staníc.

Základný regionálny výskyt TN v roku 2024 na zrážkomerných staniciach (ďalej aj ZS) vo všeobecnosti dobre korešponduje so situáciou v sieti klimatologických staníc. Najväčšie mesačné počty TN na ZS boli zaznamenané takto: jún 4 (Siladice na Podunajskej nížine), júl 11 (Sládkovičovo na Podunajskej a Veľké Trakany na Východoslovenskej nížine), august 10 (Španí Laz na Krupinskej planine) a september 7 (Sološnica na Záhorí). Spomenuté stanice mali aj najväčší celkový počet TN (Sládkovičovo 23, Španí Laz 22, Sološnica 21, atď.).

Z hľadiska priestorového výskytu je osobitne hodné zmienky početné zaznamenávanie TN na ZS v oblasti, resp. na podhorí Tríbča (Zlatno a Skýcov 11), no najmä Slovenského stredohoria (Pukanec až 18), a to vrátane polôh nad 600 m n. m. (už spomenutý Španí Laz 22, Budiná v Ostrôžkoch 16, Malá Lehota v Pohronskom Inovci 15, atď.). V týchto oblastiach sa pritom TN vyskytli ešte aj v septembri. Zaujímavé boli pomerne pravidelné TN (spolu 6) v Muránskej Zdychave pod hlavným hrebeňom Stolických vrchov v nadmorskej výške vyše 800 m. Ojedinelý výskyt TN bol zachytený aj v neobvyklých oblastiach/lokalitách ako Poľana (Detvianska Huta v nadmorskej výške približne 860 m, Dúbravy-Poľana), Kremnické vrchy (Turček vo výške vyše 770 m), či Strážovské vrchy (Zliechov vo výške približne 620 m). Špeciálnu pozornosť si akiste tiež zaslúži zaznamenanie TN v Uloži v Levočských vrchoch (vo výške takmer 900 m) a 2 TN v Zuberci na Orave (približne 770 m), jedna z ktorých sa vyskytla v úplnom závere sezóny 9. septembra 2024.

Najdlhšia neprerušená séria TN na ZS sa vyskytla vo Veľkých Trakanoch na krajnom juhovýchode Slovenska v júli v trvaní 9 dní. Pri sériovom výskyte špeciálne zmieňme taktiež dlhý sled septembrových TN na Záhorí (Sološnica 7, Plavecký Peter 6 a Pernek 5 v rade).

## DISKUSIA

Trend nápadného pribúdania TN je preukázaný aj z územia Slovenska, rok 2024 však v danom ohľade znamenal posun na pomyselnú novú, vyššiu úroveň (porovnaj s Babin a kol., 2021; Pecho a Výberči, 2021). Rastúcej početnosti TN v dlhodobom časovom meradle sa ale na tomto mieste nebudeme venovať podrobnejšie a zameriame sa ďalej na niektoré aspekty, diskusia o ktorých doposiaľ v odbornej literatúre na Slovensku absentovala.

### Supertropické noci

TN v roku 2024 na Slovensku boli charakteristické aj svojou intenzitou, pričom sa na niektorej z klimatologických staníc zaznamenali ďalšie hneď 3 prípady nocí s dosiahnutou minimálnou teplotou vzduchu ≥ 25 °C. Takýmto nociam bolo na Slovensku v odbornej literatúre navrhnuté označenie „supertropické“ (Lapin a kol., 2016). Do začiatku posledného desaťročia 20. storočia sa nám zatiaľ podarilo potvrdiť iba jediný prípad takejto noci, a to ešte v roku 1946. Odvtedy boli v slovenskej klimatologickej staničnej sieti zaregistrované prípady supertropických nocí už prinajmenšom v 12 rôznych letách: 1992, 1998, 2001, 2002, 2005, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2021 a 2024. Viaceré supertropické nocí v priebehu jednej sezóny môžeme preukázať z liet 1992, 2005, 2013, 2015, 2017, a najnovšie teda aj 2024. Najväčší ročný počet supertropických nocí sme na našom území zaznamenali podľa všetkého v roku 2015, kedy ich bolo prinajmenšom 6. Ako je vidieť, frekvencia výskytu prípadov supertropických nocí sa ešte zvýšila po roku 2010, a hoci táto problematika si ešte vyžaduje dôkladnejšie vlastné spracovanie s objektivizáciou niektorých skutočností (v čase sa meniaci počet a regionálne rozmiestnenie staníc), dosiaľ zistené rámcové skutočnosti sa javia byť dostatočne výpovedné.

Vrátiac sa k terminológii nocí s dosiahnutým 25-stupňovým teplotným minimom ešte v krátkosti doplňme, že v Španielsku sa pre ne v uplynulom období objavilo používanie prívlastku „rovníkové“ (napr. Olcina Cantos a kol., 2019; Paredes-Fortuny a Khodayar, 2023; Correa a kol., 2025).

### Septembrové a jesenné tropické noci

Výskyt TN v mesiaci september na Slovensku nemožno považovať, obzvlášť v súčasnej klíme, za celkom neštandardný jav. V rámci siete klimatologických staníc boli sporadicky zaznamenané napr. v rokoch 2019, 2017, 2016, 2015, 2012, 2011, 2008, 2006, 2005, 1998, 1994, 1991, 1987, 1983, 1982, 1978, či 1967, a ešte z dávnejšej minulosti sú nám známe vybrané prípady TN napr. zo septembra 1962, 1956, 1951, 1947, 1943, alebo 1932. Raritný však v minulosti bol výskyt za sebou nasledujúcich septembrových TN. Známy je napr. takýto prípad zo staníc v Podhájskej a Orechovej 16. a 17. septembra 2015, alebo v Bratislave-Kolibe 12. a 13. septembra 2016. Ako je teda zrejmé z prezentovaných výsledkov našej práce, rok 2024 sa vo výskyte

septembrových TN stal absolútne prelomovým, a to ako z hľadiska mesačnej početnosti TN, tak dĺžky trvania súvislých sérií TN.

K pokročilému výskytu TN v jesennom období doplňme, že ojedinelé prípady sme v poslednom období na Slovensku zaznamenali dokonca už aj v októbri. Absolútne najextrémnejší z nich sa vyskytol 21. októbra 2023, ktorý predstavuje dátum najneskoršej zaznamenanej TN v ročnom chode v celej klimatologickej staničnej sieti na Slovensku prinajmenšom od roku 1961. V tento deň boli zaznamenané tropické staničné hodnoty nočnej minimálnej teploty vzduchu nasledovne: Uhrovec 20,2 °C, Hurbanovo a Kamenica nad Cirochou 20,1 °C, Topoľčany 20,0 °C, a taktiež na zrážkomerných staniciach Hronský Beňadik 20,2 °C a Rastislavice 20,0 °C. Nie dávno predtým však chýbalo len veľmi málo do zaznamenania TN dokonca 30. októbra, a to v roku 2018 s najvyššou hodnotou nočného minima v Orechovej (19,6 °C podľa operatívnych údajov).

### Tropické noci vo väčších nadmorských výškach

V sezóne 2024 sa TN vyskytla aj v lokalitách nad 1000 m n. m., preto je vcelku zaujímavá otázka doposiaľ najexponovanejšie zaznamenaných TN na našom území práve z pohľadu nadmorskej výšky. Z historickej evidencie spomeňme zaznamenanie TN v Starom Smokovci (~ 1020 m) na úpätí Vysokých Tatier v auguste 1943 (Petrovič, 1960) a auguste 1946. Vo výraznej vlne horúčav v auguste 1952 bola TN pre zmenu zaevidovaná na stanici pri Chate na Grúni (~ 980 m) pod hlavným hrebeňom Krivánskej Malej Fatry (Tejnská a Tejnský, 1960) a hneď 3 TN aj na Sitne, najvyššom vrchu Štiavnických vrchov (~ 1000 m). Na stále existujúcich staniciach v Tatranskej Polianke (~ 980 m) a Lome nad Rimavicou (~ 1015 m) bol najmä v poslednom období zaregistrovaný už pomerne značný počet TN. Už pred rokom 2024 sú TN známe aj z Kojšovskej hole (~ 1240 m) v rokoch 1994, 2000, alebo 2017. Najvyššie položeným miestom, v ktorom sa nám doposiaľ podarilo potvrdiť výskyt TN na Slovensku (Pecho a Výberči, 2021), je ale bývalá stanica Poľana (~ 1260 m) v rovnomennom pohorí pri horskom hoteli pod vrcholom Prednej Poľany, kde sa TN vyskytla 21. augusta 2000.

## ZÁVER

Sezóna tropických nocí v roku 2024 na Slovensku bola klimatologicky v mnohých ohľadoch nevídaná. Jednou z typických čŕt bolo hromadenie takýchto nocí aj v obvykle menej exponovaných regiónoch. Pozoruhodný bol taktiež ich častý výskyt vo vyvýšených lokalitách a svahových zónach, teda v miestach, kde sa v priebehu nočného času lepšie uplatňuje prúdenie teplého vzduchu (Racko, 1987). Tropické noci sa pritom početne vyskytovali aj mimo nižších polôh našej krajiny s objavením sa aj v horských oblastiach. Veľmi významné boli aj dlhé série za sebou idúcich predmetných nocí. Z časového hľadiska sa obzvlášť výnimočná situácia odohrala na konci augusta, ale najmä na začiatku septembra, teda v časti roka, kedy už výskyt tropických nocí predsa len nie je úplne bežným javom. Zaznamenaná situácia v roku 2024 však nabáda k úvahe, že aj toto uvedené konštatovanie v podmienkach čoraz teplejšej klímy veľmi pravdepodobne smeruje k strate svojej platnosti.

Krška a Racko (1996) konštatovali, že tropické noci sa v lete 1994 stali hromadným javom. Ďalší takýto pomyselný posun do akoby nových teplotných podmienok vyššej úrovne priniesol rok 2015, ako to zhodnotili pre zmenu Bochníček a kol. (2015). Rok 2024 však, hovorovo povedané, nastavil latku ešte nezanedbateľne vyššie. Výskyt tropických nocí teda postupne graduje a s nimi súvisiace problémy v podobe negatívnych zdravotných dôsledkov na obyvateľstvo sa tak môžu stať vypuklejšími. Otvorenou otázkou pritom zostáva, vzhľadom k fyzikálnym procesom a limitom, či a do akej miery sa bude otepľovanie nocí a zvyšovanie nočných miním teploty vzduchu v blízkej či vzdialenejšej budúcnosti zvýrazňovať viac, než to bude v prípade teplotných maxím v dennej dobe.

Prostredníctvom tejto práce pokračujeme v systematickejšom odbornom spracovaní charakteristiky nočnej minimálnej teploty vzduchu. Dostupnosť a dlhodobá evidencia tejto charakteristiky u nás (Výberči a kol., 2023) je z klimatologického hľadiska akiste veľkým pozitívom. Používanie tejto špecifickej charakteristiky je podstatné hlavne vtedy a tam, kde dochádza k výraznejšiemu skresľovaniu počtu tropických nocí a hodnoty nočného minima v porovnaní s údajmi na základe celodenného minima teploty (Pecho a Výberči, 2021). Rovnako zásadný, čo sa mimochodom prejavilo aj v analyzovanej sezóne tropických nocí, je údaj o nočnej minimálnej teplote aj pre hodnotenie extrémov najteplejších nocí, keďže obzvlášť vysoké hodnoty tejto charakteristiky sa často vyskytujú práve pri vrcholení teplej advekcie bezprostredne pred následným ochladením (prechodom studeného frontu) v dennom čase.

## LITERATÚRA


*Babin, Ľ.–Pecho, J.–Onderka, M.–Faško, P.–Výberči, D., 2021, Tropické noci podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu v Hurbanove (1945 – 2021). Meteorologický časopis 24(2): 85 – 91.*

*Bochníček, O.–Švec, M.–Faško, P., 2015, Rok 2015, ďalší rok s mimoriadnym až extrémne vysokým počtom letných dní, tropických dní a tropických nocí. In: Čelková, A. (ed.), 22nd International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day – Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System: Proceedings of peer-reviewed contributions. Ústav hydrológie SAV. Bratislava: 12. novembra 2015, 36 – 40.*

*Correa, J.–López-Díez, A.–Dorta, P.–Díaz-Pacheco, J., 2025, Evolution of warm nights in the Canary Islands (1950 – 2023): evidence for climate change in the Southeastern North Atlantic. Theoretical and Applied Climatology 156: no. 87, 23 p.*

*Jůza, P., 2017, Porovnání počtu tropických nocí a počtu dnů s minimální teplotou aspoň 20 °C a vyšší v ČR. Meteorologické zprávy 70(2): 51 – 56.*

*Krška, K.–Racko, S., 1993, Horúce leto 1992 v Českej a v Slovenskej republike, jeho synoptický výklad a klimatologické zhodnotenie. Meteorologické zprávy 46(2): 33 – 41.*

*Krška, K.–Racko, S., 1996, Mimoriadne teplé leto 1994 v Českej a v Slovenskej republike. Meteorologické zprávy 49(1): 12 – 21.*

*Lapin, M.–Šťastný, P.–Turňa, M.–Čepčeková, E., 2016, High temperatures and heat waves in Slovakia. Meteorologický časopis 19(1): 3 – 10.*

*Mikulová, K.–Faško, P.–Pecho, J.–Onderka, M.–Ivaňáková, G.–Szabóová, K.–Rozkošný, J.–Markovič, L.–Kajaba, P., 2024, Snehová pokrývka na Vianoce v kontexte extrémne teplého roku 2024. Slovenský hydrometeorologický ústav /Aktuality SHMÚ. [Dostupné online na //shmu.sk/sk/?page=2049&id=1566. Posledný prístup 3. 2. 2025.]*

*Olcina Cantos, J.–Serrano-Notivoli, R.–Miró, J.–Meseguer-Ruiz, O., 2019, Tropical nights on the Spanish Mediterranean coast, 1950 – 2014. Climate Research 78(3): 225 – 236.*

*Paredes-Fortuny, L.–Khodayar, S., 2023, Understanding the magnification of heatwaves over Spain: Relevant changes in the most extreme events. Weather and Climate Extremes 42: 100631.*

*Pecho, J.–Výberči, D., 2021, Tropické noci na Slovensku: podhodnotené a čoraz nápadnejšie sa vyskytujúce. Slovenský hydrometeorologický ústav/Aktuality SHMÚ. [Dostupné online na //shmu.sk/sk/?page=2049&id=1147. Posledný prístup 31. 1. 2025.]*

*Petrovič, Š., 1960, Komplexná klíma Starého Smokovca. Meteorologické zprávy 13(5): 110 – 119.*

*Racko, S., 1987, Obdobia letných a tropických dní a tropické noci na Slovensku v rokoch 1951 – 1975. Meteorologické zprávy 40(5): 135 – 137.*

*SHMÚ, 2025, Klimatologické hodnotenie roku 2024. Slovenský hydrometeorologický ústav / Aktuality SHMÚ. [Dostupné online na //shmu.sk/sk/?page=2049&id=1581. Posledný prístup 3. 2. 2025.]*

*Slabá, N., 1976, Návod pre pozorovateľov meteorologických staníc ČSSR – Zborník predpisov III. Bratislava: Hydrometeorologický ústav, 273 pp.*

*Sobíšek, B. (ed.), 1993, Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 594 pp.*

*Tejnská, S.–Tejnský, J., 1960, Grúň (Vrátna dol.) v 10letém pozorování. Meteorologické zprávy 13(6): 146 – 153.*

*Výberči, D.–Pecho, J.–Faško, P.–Onderka, M., 2023, Nočná minimálna teplota vzduchu ako klimatologický indikátor: Niektoré teplotné aspekty nocí na západnom Slovensku. Meteorologický časopis 26(2): 91 – 97.*

# REGIONÁLNA FREKVENČNÁ ANALÝZA DENNÝCH A VIACDENNÝCH ÚHRNOV DAŽĎA Z POHĽADU TEORÉMY ERGODICITY

**MILAN ONDERKA**

*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava*

***The article presents a regional frequency analysis of daily and multi-day precipitation totals from the perspective of the ergodicity theorem. According to this theorem, long-term temporal averages of realizations of a stationary stochastic process can be replaced by the ensemble mean – that is, the average of individual realizations within a homogeneous space over a short period. The concept of ergodicity is explained in the article both theoretically and through its practical application in estimating design values of one-day and multi-day precipitation totals. The Fuzzy C-means clustering method was used to divide rain gauges across the entire territory of Slovakia into five clusters. The appropriateness of this regionalization was statistically tested using variance analysis. Rain gauges located in high-altitude areas and in the mountain ranges of the Low and High Tatras were identified as a single cluster; however, variance analysis did not confirm the homogeneity of this group. Future research should therefore focus more closely on this particular cluster. For each homogeneous cluster, global time series were constructed that significantly exceed the length of observational records at individual rain gauge stations. This approach enabled the estimation of quantiles of daily and multi-day precipitation totals across a broad range of exceedance probabilities (p = 0.5–0.001). The article presents the results of quantile estimations for 1- to 5-day precipitation totals for the period 2001 – 2020. Additionally, uncertainty was quantified using Markov Chain Monte Carlo simulations and expressed in the form of credible intervals.***

***In the context of ongoing climate change, non-stationarity is also expected in extreme precipitation totals. A key advantage of applying the ergodicity concept in regional frequency analysis lies in its ability to work with short observational records. By merging shorter records into a global dataset, the assumption of stationarity can be maintained, offering a potentially viable solution for estimating low-probability quantiles even under rapidly changing climatic conditions.***

***V článku je opísaná regionálna frekvenčná analýza denných a viacdenných úhrnov zrážok z pohľadu teorémy ergodicity. Podľa teorémy ergodicity platí, že dlhodobé časové priemery realizácií stacionárneho stochastického procesu je možné nahradiť priemerom ansámblu, t. j. priemerom jednotlivých realizácií v homogénnom priestore v krátkom čase. Koncept strednej ergodicity je v článku vysvetlený jednak po teoretickej stránke, tak aj pri riešení praktickej úlohy pri odhade návrhových hodnôt jedno a viacdenných úhrnov dažďa. Metódou Fuzzy-C means zhlukovania boli zrážkomerné stanice z celého územia Slovenska rozčlenené do piatich zhlukov. Vhodnosť tohto rozdelenia bola testovaná štatisticky analýzou rozptylu. Stanice situované vo vysokohorských polohách a v pohoriach Nízkych a Vysokých Tatier boli identifikované ako jeden zhluk, avšak analýza rozptylu nepreukázala homogenitu tohto zhluku. Do budúcna bude potrebné sa viac zamerať na tento región. Pre každý zhluk boli zostavené globálne rady, ktorých dĺžka ďaleko prevyšuje dĺžku radov pozorovaní v jednotlivých zrážkomerných staniciach. Toto umožnilo spracovať kvantily denných a viacdenných úhrnov zrážok pre široký rozsah pravdepodobnosti prekročenia (p = 0,5 – 0,001). V článku sú prezentované výsledky spracovania kvantilov 1 až 5 denných úhrnov atmosférických zrážok za obdobie 2001 – 2020. S použitím Bayesovskej inferencie parametrov GEV rozdelenia a Monte Carlo Markov Chain simuláciami boli vypočítané aj neistoty vo forme kredibilných intervalov. V kontexte prebiehajúcej zmeny klímy sa očakáva nestacionarita aj v extrémnych úhrnoch zrážok. Výhody konceptu ergodicity v regionálnej frekvenčnej analýzy je to, že nám dovoľuje pracovať s krátkymi radmi pozorovaní. Spájanie kratších radov do globálneho radu má tú výhodu, že je splnený predpoklad stacionarity, čo by mohlo byť riešenie na odhad kvantilov v oblasti malých pravdepodobností aj v podmienkach rýchlo sa meniacej klímy.***

***Key words: mean ergodicity, regional frequency analysis, precipitation totals***

## ÚVOD

Návrhové hodnoty dažďa slúžia ako podklad pre činnosť projektantov, najmä vo vodnom hospodárstve. Na zabezpečenie spoľahlivých odhadov návrhových hodnôt dažďa je pri štatistickom spracovaní potrebné analyzovať čo najdlhšie časové rady pozorovaných atmosférických zrážok. Z teórie pravdepodobnosti vyplýva, že na spoľahlivý odhad čiar prekročenia v oblasti malých pravdepodobností by sme potrebovali nerealisticky dlhý časový rad, čo je prakticky nedosiahnuteľná úloha aj z pohľadu splnenia podmienky stacionarity a homogenity časového radu. Odhad návrhových hodnôt dažďa s trvaním jedného a viac dní obzvlášť v oblasti malých pravdepodobností ($p < 0{,}01$) z krátkych radov pozorovaných hodnôt (bežne $n < 20$) je pomerne náročná úloha štatistickej pravdepodobnosti z dôvodu sporadickosti výskytu extrémnych zrážkových úhrnov. Použitie dlhých časových radov z jednej lokality nemusí však nevyhnutne viesť k menším neistotám vypočítaných kvantilov zodpovedajúcich malým pravdepodobnostiam prekročenia (Hunter et al., 2024). Ako ukazujú viaceré štúdie, ani dlhé historické rady nemusia dostatočne zachytiť variabilitu extrémov úhrnov atmosférických zrážok. Napríklad Volpi et al. (2024) analyzovali 135 rokov zrážkomerných záznamov pokrývajúcich obdobie od roku 1782 do 2017.

https://doi.org/10.62699/mj28.2x.42
Available online: November 30, 2025

Z ich štúdie vyplýva, že aj relatívne dlhé časové rady vykazujú pomerne veľkú nehomogenitu a nestacionaritu, čo robí veľmi dlhé časové rady prakticky nepoužiteľné pre odhad návrhových hodnôt úhrnov zrážok hlavne v oblasti malých pravdepodobností. Aj ďalšie štúdie poukazujú na skutočnosť, že pri spracúvaní dlhých období skoro vždy vystáva otázka splnenia podmienky stacionarity takýchto časových radov (Hunter et al., 2024; Volpi et al. 2024; Dzubák, 1969). Naopak, v prípadoch, keď sú zrážkomerné záznamy z jednej lokality krátke, napr. z dôvodu rozšírenia staničnej siete o nové stanice, alebo keď je potrebné odhadnúť návrhové hodnoty úhrnov zrážok zodpovedajúcim nízkym pravdepodobnostiam prekročenia pre lokality bez pozorovaní atmosférických zrážok (staničných zrážkomerných údajov), je nevyhnutné použiť regionálnu frekvenčnú analýzu (Onderka et al., 2023; Schlef et al., 2023; Gaál et al., 2009a, 2009b; Buishand, 1991; Dalrymple, 1960). Existuje viacero možností, ako poňať regionalizáciu návrhových hodnôt zrážok. V minulosti sa na území Slovenska problematike návrhových hodnôt denných i viacdenných úhrnov dažďa venovali viaceré práce. Gaál (2009a, 2009b) vychádzal zo zrážkomerných údajov pozorovaných v 56 staniciach a použil K-means zhlukovanie na identifikáciu homogénnych regiónov a následne odhadol kvantily 1 až 5 denných úhrnov regionálnym L-momentovým algoritmom; Remiášová et al. (2011) porovnala viaceré interpolačné metódy pre lokálne odhady N-ročností denných úhrnov. Z najnovších prác treba spomenúť štúdiu Markovič a Faško (2025), v ktorej autori pri regionalizácii 5-dňových úhrnov využili metódu založenú na lineárnych momentoch (Hosking a Wallis, 1997).

V tomto článku je opísaná metóda regionálnej frekvenčnej analýzy z perspektívy teorémy ergodicity. Podľa teorémy ergodicity platí, že dlhodobé časové priemery realizácií nejakého stacionárneho stochastického procesu sa môžu nahradiť priemerom ansámblu, t. j. priemerom jednotlivých realizácií v homogénnom priestore v krátkom čase. (Hunter et al., 2024; Wang et al., 2019; Peters, 2019; Wang et al., 2009; Uffink, 2007; Yaglom, 1987; Dobrovolski, 2000). Teoréma ergodicity našla svoje uplatnenie aj v rôznych odboroch fyziky, matematiky, teórie dynamických systémov, ale tiež v ekonómii (Hunter et al., 2024; Peters, 2019; Birkhoff, 1931). V prípade ergodicity hydrologických a klimatologických údajov je potrebné za posledné obdobie spomenúť práce od autorov Wang et al. (2019; 2009) a Laboda et al., (2005). Zo staršej literatúry napísanej prevažne v ruskom jazyku chceme spomenúť práce autorov Kritskiy a Menkel (1981); Kalinin (1971), Alexeyev (1967). Na Slovensku sa problematike určovania návrhových hodnôt maximálnych prietokov a krátkodobých intenzít dažďa s využitím teorémy ergodicity venoval Kupčo už koncom 70-tych rokov minulého storočia, ktorého výsledky ašpirantskej práce boli publikované v Zborníku č. 25 SHMÚ (1985). Kupčo et al. (2021) napísali prehľadovú štúdiu, v ktorej porovnali výsledky regionálnych odhadov návrhových hodnôt krátkodobých dažďov za rôzne obdobia ich vzniku. Ďalším významným slovenským autorom, venujúcim sa tejto problematike, bol Dzubák (1969), ktorý pomocou regionálnej frekvenčnej analýzy, hoci v danej dobe tento termín ešte zrejme nebol zadefinovaný, ako prvý na Slovensku spracoval denné úhrny zrážok touto metódou. Ako poznamenajú autori práce Kupčo et al. (2021), podstata použitia teorémy ergodicity v spracovaní extrémov hydrometeorologických údajov spočíva v tom, že: „*... náhodný jav možno z hľadiska pravdepodobnosti jeho výskytu hodnotiť jednak na základe jeho dlhodobého pozorovaniu na jednom mieste (stanice), alebo na viacerých miestach za relatívne kratší čas, aj s krátkymi radmi pozorovaní, ktoré potom zlučujeme do jedného globálneho radu za podmienky, že vytvorený globálny rad má transformované charakteristiky jednotlivých časových radov, ktoré sa majú líšiť od nových charakteristík základného globálneho radu len v rámci chýb, ktoré pripúšťajú štatistické zákonitosti*“. Ako jednu z historicky prvých úvah vedúcich k tejto paradigme možno uviesť prípad analýzy krátkodobých zrážok, t. j. zrážok s trvaním od niekoľko minút po niekoľko hodín, keď už na počiatku 20-teho storočia Haeuser (1919) spracoval obalové krivky maximálnych intenzít zrážok pre región Bavorska predpokladajúc, že krivky pravdepodobnosti prekročenia intenzít dažďa vzťahujúce sa pre jednotlivé lokality so staničnými meraniami zrážok sa s predlžujúcou dĺžkou časového radu zbiehajú do jednej obalovej krivky charakterizujúcej celý región. Ak by tento predpoklad platil aj pre štatistické parametre kriviek pravdepodobnosti prekročenia úhrnu zrážok pre jednotlivé stanice, potom by na základe teorémy ergodicity bolo možné určiť jednu jedinú čiaru prekročenia maximálnych ročných úhrnov zrážok pre rôzne trvania v danom regióne len z údajov pochádzajúcich z jednotlivých zrážkomerných staníc v danom regióne.

Hlavným cieľom tejto štúdie je jednak predstaviť regionálnu frekvenčnú analýzu 1 až 5 denných úhrnov atmosférických zrážok z pohľadu teorémy ergodicity. Cieľom je jednak oboznámiť čitateľa s teorémou ergodicity a jej základným matematickým aparátom, ale ukázať aj jej praktický význam pri znižovaní neistôt čiar prekročenia. Ide o metódu, ktorá je dodnes značne rozšírená v krajinách východnej Európy a v častiach bývalého Sovietského zväzu (Laboda, 2005; Kritskiy a Menkel, 1981; Alexeyev, 1967; Kalinin, 1971). V minulosti sa na našom území venovalo explicitne problematike ergodicity v hydrológii len obmedzený počet prác (napr. Kupčo a kol., 2021; Kupčo, 1985; Dzubák, 1969).

## MATERIÁLY A METÓDY

Použité denné úhrny atmosférických zrážok pochádzajú zo štátnej monitorovacej siete zrážkomerných staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu. Údaje pokrývajú obdobie 2001 – 2020. Jednou zo základných požiadaviek regionálnej frekvenčnej analýzy je homogenita časových radov, bez ktorej by sme nemohli pokladať spracovaný rad za súčasť globálneho radu (zlúčeného radu z jednotlivých staníc). Vonkajšie faktory, ktoré ovplyvňujú homogenitu časových radov zrážkových úhrnov, sú prirodzená variabilita klímy a dlhodobé vplyvy činnosti človeka. Keďže ide o pomerne krátke rady s dĺžkou pozorovania 20 rokov, pre účel tejto štúdie budú považované za stacionárne. Denné úhrny boli pozorované v rannom pozorovacom termíne o 7:00 h štandardným zrážkomerom typu METRA 886 so záchytnou plochou 500 $cm^2$. Termínové jednodňové úhrny boli agregované do 2, 3, 4 a 5 dňových úhrnov, pre ktoré sa

určili ročné maximá pre každú zrážkomernú stanicu samostatne. V tejto práci boli spracované údaje z 559 zrážkomerných staníc. Hoci databáza SHMÚ obsahuje záznamy z väčšieho množstva zrážkomerných staníc, ako je spracovaných v tejto práci, tu sa obmedzíme iba na tie stanice, ktoré poskytli ucelené rady ročných maxím bez prerušenia. Pre každú úroveň agregácie (trvanie dažďa $d$ od 1 do 5 dní bolo celkovo vyhodnotených 11 180 hodnôt ročných maxím.

## Regionálna frekvenčná analýza

Podstatou regionálnej frekvenčnej analýzy je zlučovanie časových radov ročných maxím pozorovaných na viacerých lokalitách v rámci homogénneho regiónu do jedného globálneho radu, ktorý je následne podrobený frekvenčnej analýze (Schlef et al., 2023; Gaál et al., 2009a, 2009b; Hosking a Wallis, 1997; Fowler a Kilsby, 2003; Buishand, 1991). Hoci existuje viacero spôsobov výpočtu kvantilov úhrnov zrážok na regionálnej úrovni (napr. metóda vplyvného regiónu, metóda roko-staníc; regionálne priemerovanie štatistík; maximalizácia spoločnej funkcie pravdepodobnosti), homogénne regióny sa zvyčajne identifikujú iteratívnym zhlukovaním zrážkomerných staníc na základe ich fyziografických charakteristík (ako sú napríklad nadmorská výška, vzdialenosť od zdrojov vlhkosti, orientácia voči prevládajúcim smerom prúdenia vzduchových hmôt), alebo štatistických vlastností časového radu atmosférických zrážok (napr. ročné alebo sezónne úhrny, tvar DDF kriviek) a použitím testu homogenity (Schlef et al., 2023).

## Podmienka nezávislosti

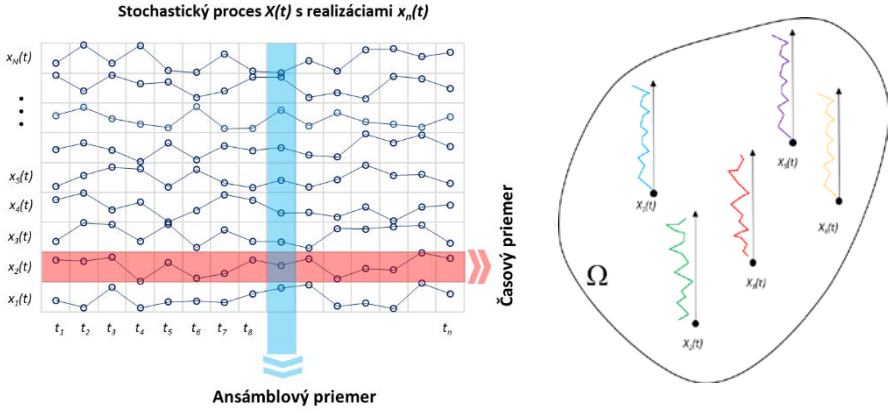
Krížová korelácia medzi zrážkomernými stanicami (časovými radmi ročných maxím) predstavuje dôležitý faktor ovplyvňujúci regionálnu analýzu atmosférických zrážok. Priestorová korelácia medzi stanicami je často ovplyvnená meteorologickými a geografickými faktormi, ktoré determinujú rozloženie zrážkového poľa v danom regióne. Za príčiny krížovej korelácie medzi zrážkovými stanicami môžeme považovať synoptické situácie (napr. frontálne poruchy a cyklóny ovplyvňujúce rozsiahle oblasti) vyvolávajúce vysoké zrážkové úhrny na viacerých zrážkomerných staniciach súčasne, čo vedie k ich vysokej priestorovej korelácii. Naopak, v prípade lokálnych búrok z konvekcie zasahujúcich pomerne malú plochu, je možné pozorovať skôr nízku priestorovú koreláciu. Búrky z konvekcie sú typickým príkladom búrok s vysokou priestorovou variabilitou úhrnov zrážok, a preto úhrn atmosférických zrážok sa môže značne líšiť aj medzi pomerne blízkymi zrážkomernými stanicami. Vzdialenosť medzi zrážkomernými stanicami logicky ovplyvňuje ich vzájomnú koreláciu, pretože zrážkové polia sú priestorovo previazané. Všeobecne možno povedať, že s narastajúcou vzdialenosťou sa priestorová korelácia znižuje v dôsledku rastúcej variability zrážkových úhrnov (resp. aj intenzít dažďa). Empirické štúdie naznačujú existencie exponenciálneho poklesu koeficientu korelácie so vzdialenosťou typicky v rámci priestorovej škály 10 až 100 km. V podmienkach Slovenska sa takýmto priestorovým vzťahom dekorelačných vzdialeností venoval v minulosti Dzubák (1969). Krížová korelácia medzi zrážkomernými stanicami má podstatný vplyv na presnosť odhadu extrémnych kvantilov v regionálnej frekvenčnej analýze, a preto je v prípade spájania časových radov do jedného globálneho radu nevyhnutné brať do úvahy koreláciu medzi zrážkomernými stanicami. Z tohto dôvodu je pri regionálnej frekvenčnej analýze potrebné zohľadniť používať také metódy, ktoré korigujú vplyv priestorovej korelácie na odhad kvantilov. V tomto článku sme použili metodiku publikovanú Dzubákom (1969).

## Teoréma ergodicity

Na Obr. 1 je znázornený stacionárny stochastický proces $X(t)$ s viacerými trajektóriami svojich realizácií $\{x_n\{t\}\}$ v čase $t$. Existujú dva typy priemerov, ktoré možno vypočítať z časových radov takéhoto procesu. Časový priemer je počítaný integrovaním trajektórie $x_n\{t\}$ od počiatočného bodu ku konečnému bodu v čase, ktorý podelíme dĺžkou integračného okna, $\bar{x}_T = \frac{1}{T}\int_0^T x_n\{t\}dt$, prípadne v diskrétnej forme môžeme napísať $\bar{x}_T = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} x_n\{t\}$. Druhý typ priemeru môžeme vypočítať z ansámblu realizácií stacionárneho stochastického procesu v konkrétnom čase $\{x_n\{t\}\}$ (prípadne v dostatočne krátkom časovom intervale), t. j. keď integrujeme vertikálne naprieč viacerými trajektóriami (Obr. 1 vľavo), $\langle x\rangle = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} x_n\{t\}$. Stochastický proces sa označuje za ergodický vtedy, ak $\bar{x}_T = \langle x\rangle$ (Yaglom, 1987; Wang et al., 2009).

***Obrázok 1. Ilustrácia teorémy ergodicity na stacionárnom stochastickom procese $X(t)$ s ukážkou zostavenia radu hodnôt (realizácií procesu) pre časový priemer a ansámblový priemer (vľavo). Fiktívne časové rady v bodoch v rámci priestoru $\Omega$ (vpravo).***

*Figure 1. Illustration of the ergodicity theorem on a stationary stochastic process $X(t)$ with an example of how the time average and ansamble average are calculated from process relizations (left). Fictive series at points within the space $\Omega$ (right).*



Teoréma ergodicity má svoje praktické využitie aj v regionálnej frekvenčnej analýze, čo možno ilustrovať na príklade ročných maxím úhrnov zrážok pozorovaných vo viacerých fiktívnych staniciach (bodoch) v rámci priestoru Ω, ktorý v hydrologickej a klimatologickej terminológii môžeme chápať ako nejaký homogénny región (Obr. 1 vpravo).

## Kvázi-ergodicita

V predchádzajúcich riadkoch bolo ukázané, že ak má byť stacionárny stochastický proces ergodický, musí si zachovávať pri rôznych realizáciách rovnaké štatistické parametre (priemer, rozptyl, autokorelačnú funkciu, atď.). V hydrológii a klimatológii by to znamenalo, že na to, aby nejaká veličina (napr. zrážkové úhrny alebo prietok) bola ergodická, musela by spĺňať podmienku, že jej stredná hodnota, rozptyl a autokorelačná funkcia sa nemenia v priestore, čo je v rozpore s reálnymi hydrologickými a meteorologickými pozorovaniami. Z tohto dôvodu Kalinin (1971) zaviedol pojem kvázi-ergodicity, kde priemery transformovaných hodnôt (tzv. modulových koeficientov) sa s narastajúcim rozsahom hodnôt blížia k jednotke. Teoréma ergodicity je priamo aplikovateľná v regionálnej frekvenčnej analýze len vtedy, ak transformované charakteristiky individuálnych časových radov sú schopné vytvoriť globálny (zlúčený) rad. Predpokladom použitia tejto metódy je nízka priestorová variabilita štatistických parametrov (priemer a súčiniteľ variácie) pre každé miesto skúmanej veličiny (Kupčo, 2021; Kupčo, 1985, 1997; Dzubák, 1969). V prípade, ak sa v priestore výrazne mení iba stredná hodnota *M*, transformované hodnoty (modulové koeficienty) sa spočítajú vzťahom:

$$k_i = \frac{x_i}{M}. \tag{1a}$$

Prípadne, ak sa výrazne v priestore mení aj hodnota *CV*, použije sa transformovaná hodnota vypočítaná výrazom:

$$t_i = \frac{k_i - 1}{CV}. \tag{1b}$$

Aj na základe iných štúdií možno konštatovať, že koeficient variácie *CV* ročných maxím úhrnov zrážok kolíše v relatívne úzkom rozmedzí od 0,3 – 0,4 (Kupčo 2021; Dzubák, 1969). *CV* je priestorovo relatívne málo premenlivý, čo potvrdzujú údaje použité aj v tejto štúdii, avšak z dôvodu veľkého rozsahu staníc nie sú prezentované koeficienty variácie a priemery pre všetkých 559 zrážkomerných staníc. Ako-taký obraz o priestorovej variabilite priemerov *M* a koeficientu variácie *CV* si môže čitateľ vytvoriť aj na štatistických charakteristikách počítaných pre jednotlivé zhluky v Tab. 1. Priemer ročných maxím *M* vykazuje oveľa väčšiu rozkolísanosť v priestore. Vzhľadom na túto skutočnosť sa na transformáciu maxím ročných maxím úhrnov zrážok použila rovnica (1a).

## Analýza rozptylu

Ak budeme vychádzať z aditívnej vlastnosti rozptylu, potom pri analýze rozptylu ročných maxím úhrnov zrážok môžeme celkový priestorový rozptyl $\sigma^2_{spatial}$ rozložiť na jeho komponenty: geografický rozptyl $\sigma^2_{geog}$, ktorý v sebe zahŕňa orografické, cirkulačné a miestne klimatologické špecifiká, a náhodný komponent rozptylu $\sigma^2_{rand}$ (Kupčo et al., 2021; Laboda at al., 2005; Kupčo, 1985; Alexeyev, 1967; Kritskiy and Menkel, 1970; Kalinin, 1971):

$$\sigma^2_{spatial} = \sigma^2_{geog} + \sigma^2_{rand}. \tag{2}$$

Z teorémy ergodicity vyplýva, že rozptyl náhodného komponentu v priestore, $\sigma^2_{rand}$, je možné nahradiť náhodným komponentom rozptylu získaného zo zlúčeného (globáleho) radu $\sigma^2_{glob}$ (Laboda at al., 2005; Kupčo 1985):

$$\sigma^2_{rand} = \sigma^2_{glob} = \frac{\sigma^2_x}{n}, \tag{3}$$

kde *n* je priemerná dĺžka jednotlivých radov maxím pozorovaných v staniciach, a $\sigma^2_x$ je rozptyl globálneho radu. Tento rozptyl globálneho radu je možné odhadnúť zo vzťahu pre

***Tabuľka 1. Základný štatistický popis zhlukov 1 – 5. Stredná hodnota (M), koeficient variácie (CV) a smerodajná odchýlka (Std) boli vypočítané z globálnych radov ročných maxím pre každý zhluk zvlášť a tiež pre prípad bez použitia zhlukovej analýzy. Hodnota k označuje počet zrážkomerných staníc spadajúcich do príslušného zhluku. Celkový počet zrážkomerných staníc je 559. Parametre rozdelenia GEV boli odhadnuté z modulových koeficientov.***

*Table 1. Basic statistical description of the cluster 1 – 5. The mean (M), coefficient of variation (CV) and standard deviation (Std) were calculated from the global series of annual maxima. The k value indicates the number of stations falling into the individual clusters. Number of rain gauges 559. The GEV distribution parameters were inferred from the module coefficients.*

| d | M | Std | CV | Parametre GEV rozdelenia | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (dni) | (mm) | (mm) | | ξ | σ | μ |
| | **Zhluk 1** (k = 109) | | | | | |
| 1 | 43,278 | 13,894 | 0,321 | 0,039 | 0,225 | 0,862 |
| 2 | 56,120 | 17,007 | 0,303 | 0,013 | 0,225 | 0,867 |
| 3 | 64,138 | 19,763 | 0,308 | -0,013 | 0,236 | 0,865 |
| 4 | 70,743 | 21,830 | 0,309 | -0,029 | 0,241 | 0,867 |
| 5 | 75,129 | 22,898 | 0,305 | -0,028 | 0,238 | 0,868 |
| | **Zhluk 2** (k = 123) | | | | | |
| 1 | 42,752 | 13,154 | 0,308 | -0,002 | 0,231 | 0,866 |
| 2 | 54,786 | 17,098 | 0,312 | 0,035 | 0,225 | 0,861 |
| 3 | 62,960 | 20,743 | 0,329 | 0,064 | 0,226 | 0,855 |
| 4 | 70,049 | 24,284 | 0,347 | 0,072 | 0,232 | 0,848 |
| 5 | 76,889 | 26,643 | 0,347 | 0,042 | 0,240 | 0,852 |
| | **Zhluk 3** (k = 94) | | | | | |
| 1 | 52,299 | 17,391 | 0,333 | 0,004 | 0,232 | 0,865 |
| 2 | 70,768 | 23,976 | 0,339 | -0,068 | 0,245 | 0,873 |
| 3 | 81,591 | 27,669 | 0,339 | -0,076 | 0,246 | 0,875 |
| 4 | 90,745 | 31,312 | 0,345 | -0,082 | 0,252 | 0,873 |
| 5 | 98,832 | 33,894 | 0,343 | -0,094 | 0,253 | 0,875 |
| | **Zhluk 4** (k = 123) | | | | | |
| 1 | 39,472 | 13,694 | 0,347 | 0,041 | 0,246 | 0,847 |
| 2 | 50,972 | 17,472 | 0,343 | 0,046 | 0,242 | 0,848 |
| 3 | 58,213 | 20,576 | 0,353 | 0,057 | 0,248 | 0,843 |
| 4 | 63,606 | 22,122 | 0,348 | 0,019 | 0,255 | 0,848 |
| 5 | 68,332 | 23,413 | 0,343 | 0,008 | 0,255 | 0,849 |
| | **Zhluk 5** (k = 110) | | | | | |
| 1 | 41,432 | 12,582 | 0,304 | 0,019 | 0,218 | 0,870 |
| 2 | 54,788 | 15,947 | 0,291 | -0,029 | 0,222 | 0,878 |
| 3 | 63,173 | 18,064 | 0,286 | -0,040 | 0,222 | 0,881 |
| 4 | 70,036 | 20,115 | 0,287 | -0,035 | 0,221 | 0,879 |
| 5 | 76,380 | 21,590 | 0,283 | -0,034 | 0,218 | 0,881 |
| | **Bez klastrovania** (k = 559) | | | | | |
| 1 | 43,478 | 14,713 | 0,338 | 0,021 | 0,231 | 0,861 |
| 2 | 56,895 | 19,405 | 0,341 | 0,000 | 0,233 | 0,865 |
| 3 | 65,320 | 22,690 | 0,347 | 0,003 | 0,236 | 0,862 |
| 4 | 72,244 | 25,516 | 0,353 | -0,004 | 0,241 | 0,862 |
| 5 | 78,253 | 27,561 | 0,352 | -0,017 | 0,242 | 0,864 |

rozptyl teoretického rozdelenia. V tomto článku sa použilo GEV rozdelenie, a preto rozptyl globálneho radu je daný vzorcom:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma^2}{\xi^2}(\Gamma(1-2\xi) - \Gamma(1-\xi)^2), \quad (4)$$

kde $\sigma$ je parameter škály, $\xi$ je parameter tvaru, $\Gamma$ je gama funkcia. Treba poznamenať, že tento výraz na odhad rozptylu platí iba pre parameter tvaru $\xi < 0{,}5$. Ak parameter tvaru $\xi = 0$, potom rozptyl globálneho radu je $\sigma_x^2 = \sigma^2\pi^2/6$; a ak parameter tvaru $\xi \geq 0{,}5$ rozptyl globálneho radu je $\sigma_x^2 = \infty$. Ako si ukážeme neskôr, pre účel tu prezentovaných analýz platí, že parameter tvaru $\xi < 0{,}5$. Preto rovnica (4) bola použitá na odhad rozptylu globálneho radu $\sigma_x^2$.

Priestorový rozptyl stredných hodnôt ročných maxím bol počítaný vzťahom:

$$\sigma_{spatial}^2 = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}\left(\bar{\bar{\mu}} - \bar{x}_j\right)^2, \quad (5)$$

kde $\bar{\bar{\mu}}$ je globálny priemer (priemer priemerov) vypočítaný z jednotlivých časových radov $k$ zrážkomerných staníc; a $\bar{x}_j$ je kvantil zodpovedajúci pravdepodobnosti $p = 0{,}5$ vypočítaný z kumulatívnej distribučnej funckie GEV rozdelenia pre každý rad ročných maxím (t. j. zvlášť pre každú zrážkomernú stanicu).

## Zhluková analýza

Cieľom zhlukovania (zhlukovej analýzy) je identifikovať homogénne skupiny bodov (v našom prípade zrážkomerných staníc), v ktorých sa následne vypočítajú kvantily úhrnov zrážok. Medzi najbežnejšie používané metódy v regionálnej frekvenčnej analýze patria techniky K-means a Ward (Lin a Chen, 2006). K-means náhodne určuje centrá zhlukov zo všetkých vstupných charakteristík. Na druhej strane, metóda Wards začína s každým dátovým bodom ako samostatným zhlukom, systematicky spája zhluky, až kým nezostane len jeden zhluk (Lin a Chen, 2006). Hosking a Wallis (1997) navrhli regionálnu frekvenčnú analýzu s využitím L-momentovej metódy. Tento prístup použili aj Fowler a Kilsby (2003). Po analýze sa hodnotí diskordancia, t. j. hodnotí sa, či distribúcie ročných maximálnych hodnôt na jednotlivých staniciach v rámci každého regiónu sú dostatočne podobné. Pomery L-momentov jednotlivých staníc sa porovnávajú s pomermi vypočítanými zo zlúčenej skupiny, pričom sa vyhodnocuje diskordancia pre každú stanicu. Novšie techniky sa zameriavajú na využívanie neurónových sietí a self-organizing maps (Lin a Chen, 2006).

Olsson et al. (2019) použili K-means zhlukovanie na identifikáciu homogénnych regiónov extrémnych krátkodobých zrážok vo Švédsku. Pri tom použili päťrozmerný vektor, kde prvé tri rozmery predstavovali parametre distribúcie rozdelenia GEV pre každú zrážkomernú stanicu a posledné dva rozmery predstavovali geografické súradnice týchto staníc. Na druhej strane, dlhodobé priemery úhrnov zrážok alebo iné klimatologické faktory, ktoré vystihujú lokálne špecifiká výskytu extrémnych úhrnov atmosférických zrážok, môžu byť tiež zahrnuté ako doplnkové premenné v regionálnej analýze frekvencií (Gaál et al., 2009). Le Gall et al. (2022) opísali koncept, ktorý sa zakladá výhradne na dostupných údajoch o zrážkach a nevyžaduje si použitie doplnkových premenných.

Ako vstup do zhlukovej analýzy boli v tejto práci využité stredné hodnoty ročných maxím v jednotlivých staniciach pre trvanie dažďa 1 až 5 dní spolu s polohou zrážkomeru (geografické súradnice s nadmorskú výškou). Pre zabezpečenie porovnateľnosti škál je potrebné vstupné charakteristiky normalizovať. Le Gall et al. (2022) normalizovali vstupnú maticu odpočítaním priemeru a delením štandardnou odchýlkou (z-scores), zatiaľ čo Fowler a Kilsby (2003) štandardizovali vstupné rady maxím použitím mediánu. V tejto štúdii boli vstupné charakteristiky (priemery ročných maxím, zemepisná šírka a dĺžka, nadmorská výška staníc) štandardizované tak, aby sa ich hodnoty pohybovali medzi nulou a jednotkou: $(x - x_{min})/(x_{max} - x_{min})$.

Metóda Fuzzy C-means (FCM, implementovaná v prostredí Matlab®) bola použitá na vytvorenie homogénnych zhlukov (Bezdek, 1981). FCM je technika tzv. mäkkého zhlukovania, pretože umožňuje, aby každý dátový bod patril súčasne do viacerých zhlukov, a teda každý dátový bod má určitý stupeň príslušnosti v každom zhluku. Algoritmus zhlukovania začína náhodným počiatočným určením centier zhlukov. Iteratívnym aktualizovaním centier zhlukov a stupňa príslušnosti ku zhlukom pre každý dátový bod FCM postupne posúva centrá zhlukov na správne miesto v dátovom súbore a pre každý dátový bod nájde stupeň príslušnosti v každom zhluku. V každej iterácii sa minimalizuje euklidovská vzdialenosť od akéhokoľvek daného dátového bodu k centru zhluku s vážením podľa stupňa príslušnosti dátového bodu v zhluku. V algoritme FCM sú centrá zhlukov a hodnoty príslušnosti ku zhluku vypočítané minimalizovaním funkcie (Bezdek, 1981):

$$J_m = \sum_{i=1}^{C}\sum_{j=1}^{N} u_{ij}^m D_{ij}^2, \quad (6)$$

kde $N$ je celkový počet dátových bodov (čiže počet zrážkomerných staníc), $C$ je počet zhlukov (v tejto štúdii $C = 5$); $m$ je exponent fuzifikačnej matice, ktorý určuje stupeň prekrytia jednotlivých zhlukov ($m > 1$). Ak $m = 1$ FMC sa správa ako „tvrdo“ zhlukujúca K-means metóda, v ktorej každý bod patrí iba do jedného zhluku. Ak $m > 1$, hodnota príslušnosti ku zhluku je rozostrená („fuzifikovaná“), t. j. dátový bod môže prislúchať k viacerým zhlukom súčasne s rôznymi stupňami príslušnosti; $D_{ij}$ je vzdialenosť *j-teho* bodu k i-temu zhluku; $u_{ij}$ je stupeň príslušnosti *j*-teho bodu k *i*-temu zhluku. Suma stupňov príslušnosti ku všetkým zhlukom sa rovná jednotke (platí pre každý dátový bod).

## Frekvenčná analýza - Nahradenie časovej informácie priestorovou informáciou

V princípe nám ide o to, aby sme chýbajúcu časovú informáciu (z dôvodu krátkych časových radov ročných maxím) nahradili informáciou z určitého štatisticky homogénneho priestoru. Po identifikácii zhlukov môžu byť priestorové pozorovania ročných maxím použité na vytvorenie globálnych radov nahradzujúcich pozorovania v jednej lokalite za veľmi dlhé pozorovacie obdobie, čo tvorí samotnú podstatu

regionálnej analýzy známej ako „station-year“ metóda (Chow, 1964; Burn, 2014; Olsson et al., 2019). Za zmienku stojí aj jej slovenský názov „metóda roko-staníc“, ako ju vo svojej práci nazval Dzubák (1969). V tomto článku používame pojem „metóda roko-staníc“ napriek tomu, že v odbornej praxi je pojem station-year metóda známa.

Odhad návrhových hodnôt (kvantilov) atmosférických zrážok je možné riešiť empirickými pravdepodobnosťami prekročenia, alebo s použitím inverznej funkcie vhodne zvoleného teoretického rozdelenia. V tejto štúdii sme použili obe metódy na odhad kvantilov zrážkových úhrnov s trvaním o jedného do piatich dní.

***Teoretické rozdelenie***

Ako teoretické rozdelenie ročných maxím zrážkových úhrnov sme v preloženej práci použili Generalizované rozdelenie externých hodnôt (Generalized Extreme Value - GEV). Kumulatívna distribučná funkcia GEV rozdelenia má tvar:

$$G(x) = \exp\left[-\left(1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-\frac{1}{\xi}}\right], \quad (7)$$

kde je parameter polohy, $\sigma$ je parameter škály, a $\xi$ je parameter tvaru (Coles, 2001; Smith, Prentice and Sykes, 2001). Vo svojej limitnej forme keď $\xi \to 0$, korešponduje GEV rozdelenie s Gumbelovým rozdelením, pre $\xi < 0$ s Weibullovým rozdelením, a pre prípad, keď $\xi > 0$ korešponduje s rozdelením Fŕechet (Coles 2001). Ak poznáme parametre rozdelenia $G(x)$, potom kvantily môžeme vypočítať z inverznej funckie:

$$x = \mu - \frac{\sigma}{\xi}\left[1-\left\{-log(1-p)^{-\xi}\right\}\right] \quad \text{pre } \xi \neq 0, \quad (8a)$$

$$x = \mu - \sigma log\{-log(1-p)\} \quad \text{pre } \xi = 0, \quad (8b)$$

kde $x$ je kvantil zodpovedajúci pravdepodobnosti prekročenia. Je známe, že tvar distribučnej funkcie v jej odľahlej časti (tzv. ťažké chvosty) je determinovaný parametrom tvaru $\xi$. Preto jeho správny odhad je zásadný aj pre odhad kvantilov v oblasti nízkych pravdepodobností (Sarinaldi and Kilsby, 2014). V hydrologickej a klimatologickej praxi sa stretávame s viacerými metódami odhadu parametrov rozdelenia, napr. metóda momentov, metóda maximálnej vierohodnosti, metóda lineárnych momentov, metóda maximálnej entropie, metóda najmenších štvorcov, alebo v poslednom čase aj metóda založená na bayesovskej štatistike. V tejto práci bola použitá práve metóda byesovskej inferencie parametrov GEV rozdelenia so simuláciami Markov Chain Monte Carlo (MCMC) simulations, čo umožnilo odhadnúť aj neistoty kvantilov (tzv. kredibilné intervaly). Všetky výpočty a MCMC simulácie boli uskutočnené v prostredí Matlab® s využitím toolboxu ProNEVA, ktorého detailný popis možno nájsť v prácach Chen et al (2014), Ragno et al. (2019), Onderka et al. (2024a) a Onderka et al. (2024b). Za zmienku stojí podotknúť, že na apriórnu hustotu rozdelenia parametra tvaru $\xi$ rozdelenia (tzv. prior) bolo použité rovnomerné rozdelenie na intervale od –0,2 do +0,2, čiže $\xi \sim \mathcal{U}(-0{,}2;\ 0{,}2)$. Uvedený rozsah potenciálnych hodnôt parametra tvaru je v súlade s výsledkami iných štúdií zaoberajúcimi sa problematikou rozdelenia sub-denných, denných a viacdenných úhrnov zrážok (Ulrich et al., 2013, Papalexiou a Koutsoyiannis, 2013; Koutsoyiannis, 2004a,b).

***Empirická pravdepodobnosť prekročenia***

V prvom kroku bola pre každý zhluk vypočítaná empirická pravdepodobnosť prekročenia s polohou členov empirického radu (Cunnane plotting positions, Cunnane, 1978):

$$p(x_m) = \frac{m-\alpha}{N+1-2\alpha}, \quad (9)$$

kde $m$ je v podstate počet prevýšení alebo dosiahnutí hodnoty $x_m$ (totožný s poradovým číslom zostupne usporiadaného úboru); $p(x_m)$ je pravdepodobnosť prekročenia spojená s hodnotou ročného maxima $x_m$; $N$ je rozsah súboru hodnôt (počet členov v rade ročných maxím); pre väčšinu hydrologických úloh je $\alpha = 0{,}3$. Pre jej použitie na globálnom (zlúčenom) rade môžeme túto rovnicu prepísať do tvaru Čegodajeva:

$$p(x_m) = \frac{m-0{,}3}{\sum n_j + 0{,}4}, \quad (10)$$

kde $x_m$ je m-tý člen v poradí (od najvyššej hodnoty po najnižšiu) v rámci globálneho radu s celkovou dĺžkou radu $\sum n_j$ (kde $n_j$ je dĺžka radov jednotlivých zrážkomerných staníc). Dĺžka globálneho radu $n^*$ preto je:

$$n^* = n_1 + n_2 + n_3 + + n_N = \sum n_j. \quad (11)$$

Metóda roko-staníc predpokladá štatistickú nezávislosť spracovaných údajov (Buishand et al., 2008). Pri zostavovaní čiar prekročenia na globálnom (zlúčenom) rade je potrebné brať do úvahy aj vplyv korelácie medzi vyšetrovanými súbormi ročných maxím zrážkových úhrnov. V prípade, ak by jednotlivé rady maxím boli vzájomne nezávislé, t. j. neexistovala by medzi nimi štatisticky významná korelácia, tieto rady by mohli byť zlúčené do jedného globálneho radu a pravdepodobnosť prekročenia by sa mohla priamo vyjadriť použitím rovnice 10 v spojení s rovnicou 11. Pre zohľadnenie vplyvu korelácie medzi geograficky blízkymi stanicami získame dĺžku redukovaného globálneho radu:

$$\begin{aligned} r_2 &= r_{21}, \\ r_3 &= max(r_{31}, r_{32}), \\ r_4 &= max(r_{41}, r_{42}, r_{43}), \\ &\dots \\ r_N &= max(r_{N1}, r_{N2}, , r_{N,N-1}). \end{aligned}$$

Pre hraničný prípad, keď $r = 1$ platí, že dĺžka globálneho radu by sa zredukovala na rozsah $n^*$, ktorý by sa stotožňoval s najväčším rozsahom jedného z čiastkových radov $n^* = max(n_j)$ (Dzubák, 1969). Naopak, pre prípad $r = 0$ by nedošlo k redukcii globálneho radu a platila by rovnosť $n^* = \sum n_j$.

V prípade existencie štatisticky významných korelácií medzi čiastkovými radmi možno určiť efektívny rozsah globálneho radu interpolačným vzorcom:

$$n^* = n_1 + n_2(1-r_2) + n_3(1-r_3) + + n_N(1-r_N), \quad (12)$$

kde $n_1$ sú rozsahy čiastkových súborov z jednotlivých zrážkomerných staníc, a korelačné koeficienty $r_N$ sú počítané medzi všetkými pármi zrážkomerných staníc so štatisticky významnými hodnotami korelácie hodnotenými na hladine významnosti $\alpha = 0{,}05$. V ďalšom kroku možno vypočítať empirickú pravdepodobnosť prekročenia $P_r$ pre

redukovaný globálny rad o dĺžke $n^*$. Dzubák (1969) navrhol vzťah pre určenie polohy pravdepodobností pre jednotlivé členy radu (pozn. v angličtine sa používa pojem „plotting position formula“) v nasledovnom tvare:

$$P_r = \frac{1}{n^*+0{,}4}\left(0{,}7 - \frac{\lambda-1}{2\lambda}\right) + \frac{m-1}{n+0{,}4\lambda}, \quad (13)$$

kde λ je počet členov pripadajúcich na jednu grupu v rámci celého globálneho radu:

$$\lambda = \frac{\sum n_j}{n^*} = \frac{n_1+n_2+,\ldots,+n_N}{n_1+n_2(1-r_2)+\ldots+n_N(1-r_N)}. \quad (14)$$

***Definícia doby opakovania***

Vo vodohospodárskej praxi sa však vedľa pojmu pravdepodobnosť prekročenia hodnotí aj významnosť javu použitím pojmu „doba opakovania“, ktorý je definovaný vzťahom (Beran a Nozdryn-Plotnicki, 1977; Cunnane, 1974; Dub a Němec, 1969; Chow, 1964):

$$T = \frac{1}{P(X \geq x_m)}. \quad (15)$$

Doba opakovania má aj svoj štatistický význam. Ak sa za dostatočne dlhé obdobie vyskytne znak $X \geq x_m$ $m$-krát, bude pomer $n/m$ znamenať priemernú dobu, za ktorú sa jav $X \geq x_m$ v tomto období vyskytuje (Dub a Němec, 1969). Napríklad, ak budeme uvažovať o nejakej dobe opakovania $T = 10$ rokov, správne ju treba interpretovať tak, že v každom roku bude jav dosiahnutý alebo prekročený s pravdepodobnosťou $P = 0{,}1$. V žiadnom prípade sa nejedná o jav, ktorý sa opakuje každých 10 rokov. Takáto interpretácia by bola nesprávna a zavádzajúca. Pri používaní pojmu doby opakovania si však treba uvedomiť, že tento pojem mení svoj význam podľa toho, akým spôsobom bol zostavený rad náhodnej veličiny $X$. Ak súbor obsahuje ročné maximá, ako je prípad tejto štúdie, potom pravdepodobnosti $P = 0{,}5$ zodpovedá doba opakovania $T = 2$ roky. Iný význam nadobudne pojem doby opakovania v prípade, ak rad náhodnej veličiny $X$ je zostavený z počtu prevýšení nejakej prahovej hodnoty, pričom v rámci jedného roka môže dôjsť k viacnásobnému prevýšeniu takejto prahovej hodnoty, a v inom roku nedôjde vôbec k jej dosiahnutiu. Ide o tzv. rady čiastkového trvania (v ang. partial-duration series, alebo Peak-over Threshold). Dub a Němec (1969) uvádzajú preto dva pojmy, a to: priemernú ročnú frekvenciu $p'$ a pravdepodobnosť každoročného prevýšenia $P$, medzi ktorými platí Langbeinov (1949) vzťah:

$$P = 1 - exp^{-P'}. \quad (16)$$

Po jednoduchej úprave umožňuje tento vzťah určiť pravdepodobnosť prekročenia $p'$ radu čiastočného trvania (priemerná ročná frekvencia ekvivalentná napríklad periodicite dažďa) z pravdepodobnosti prekročenia ročných maxím $P$ (Eliáš, 1981; Beran a Nozdryn-Plotnicki, 1977; Dub a Němec, 1969; Chow, 1964; Langbein, 1949). Pre doby opakovania možno vzťah (16) napísať v tvare:

$$T = \left[1 - exp\left(-\frac{1}{T'}\right)\right]^{-1}. \quad (17)$$

Ľahko sa môžeme presvedčiť, že rovnice 16 a 17 majú praktický význam len pri krátkych dobách opakovania ($T < 10$ rokov). Napríklad, dobe opakovania $T' = 1$ rok určenej z radu čiastkového trvania by zodpovedala doba opakovania $T = 1{,}58$ roka určená z radu ročných maxím, a hodnote $T' = 10$ rokov by zodpovedala doba opakovania $T = 10{,}5$, čiže návrhová hodnota odhadovaná z ročných maxím by v tomto prípade bola už takmer zhodná s hodnotou vypočítanou z radu čiastkového trvania. Je potrebné upozorniť, že v tejto štúdii vychádzame z radov ročných maxím úhrnov zrážok, a preto na základe hore uvedených definícií výsledky štúdie je potrebné chápať v zmysle pravdepodobnosti prekročenia v každom roku a jej zodpovedajúcej doby opakovania.

## Zhrnutie procesu spracovania údajov

Celý proces zhlukovej analýzy je prehľadne zhrnutý v nasledovných krokoch:

- Pre každé trvanie dažďa $d$ sa určil počet zhlukov. Na optimálny počet zhlukov boli vyhodnocované metriky ako Partition coefficient (PC), Classification Entropy (CE), Xie-Beni Index (XB) a Dunn Index.
- Samotné zhlukovanie bolo uskutočnené v prostredí MATLAB® s použitím toolboxu FCM. Výsledkom bolo určenie strednej polohy zhlukov a tiež koeficienty fuzifikácie. Každej zrážkomernej stanici bola priradená hodnota stupňa príslušnosti ku zhluku (degree of membership) $u_{ij} \in (0; 1)$.
- Pre každý zhluk zvlášť boli stupeň príslušnosti ku zhluku $u_{ij}$ interpolovaný do priestoru s gridovou mriežkou 1×1 km s použitím biharmonického splajnu (MATLAB®), s geografickými súradnicami staníc a ich nadmorskou výškou ako nezávislými premennými (projekcia: EPSG:5513).
- Pre každý zhluk bola spočítaná základná štatistika (priemer, smerodajná odchýlka, koeficient variácie) a taktiež pre celú oblasť Slovenska bez použitia zhlukovej analýzy
- Boli spočítané empirické pravdepodobnosti prekročenia pre každé trvanie dažďa a každý zhluk zvlášť a rovnako pre celé územie Slovenska pre prípad bez zhlukovania.
- Distribučná funkcia GEV bola použitá na modulových koeficientoch pre každé trvanie dažďa a zvlášť pre každý zhluk $k_{d,i}$ .
- Kvantily modulových koeficientov $q_{d,i}$ zodpovedajúce dobám opakovania 2 – 1000 rokov boli spočítané pre každý zhluk zvlášť a tiež pre celé územie Slovenska pre prípad, keď nebolo použité zhlukovanie.

Konečným krokom bolo spočítať kvantily zrážkových úhrnov $x_d$ vyjadrené pre každé tr vanie dažďa $d$ zvlášť pre každý gridový bod ako sumu príspevkov kvantilov vypočítaných pre jednotlivé klastre:

$$x_d = \sum_{i=1}^{c} M_{d,i} q_{d,i} u_{d,i,j}, \quad (18)$$

kde $x_d$ je kvantil zrážkových úhrnov (vyjadrený v milimetroch), $q_{d,i}$ je kvantil určený z inverznej funkcie GEV rozdelenia modulových koeficientov pre *i-tý* kluster (bezrozmerná hodnota); $M_i$ je stredná hodnota (priemer) ročných maxím (globálnych radov) v rámci *i-teho* klustera (mm); $u_{d,i,j}$ je stupeň príslušnosti *j*-teho bodu (stanice) v rámci zhluku, a $C$ je celkový počet zhlukov.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pomocou Fuzzy-C means zhlukovej analýzy bolo identifikovaných päť zhlukov zrážkomerných staníc. Stupeň príslušnosti ku zhluku bol vypočítaný pre každú polohu zrážkomeru. Keďže cieľom je odhadnúť návrhové hodnoty aj pre lokality nepokryté zrážkomernou sieťou, stupeň príslušnosti ku zhluku bol interpolovaný do gridu s rozlíšením 1×1 km. Výhodou použitia FCM oproti iným metódam zhlukovania, ako je napr. K-means, je to, že FCM vytvára prirodzený prechod medzi zhlukmi (fuzifikované hranice zhluku) namiesto pevne definovaných hraníc zhlukov, ako je v prípade K-means. Ostré hranice by boli problematické pre oblasti, kde náhle zmeny v kvantiloch nie sú žiaduce – napríklad, ak by jedna časť mesta patrila do jedného zhluku, zatiaľ čo iná časť toho istého mesta by patrila do iného zhluku. Napriek tomu bolo potrebné definovať ostré hranice zhlukov, aby bolo možné samostatne vypočítať popisné štatistiky pre každý zhluk (Tab. 1, 2 a 3) a pre globálny rad modulových koeficientov spolu s ich zodpovedajúcimi empirickými a teoretickými čiarami prekročenia. Na určenie dominantného zhluku sa aplikovalo pravidlo, podľa ktorého dominantným zhlukom je ten zhluk, ktorý má najvyššiu hodnotu stupňa príslušnosti $u_{d,i,j}$. Pre ilustráciu sú na Obr. 2 uvedené pravdepodobnosti prekročenia pre modulové koeficienty 3-denných úhrnov dažďa v rámci piatich zhlukov, a tiež pre prípad, kedy nebolo použité žiadne zhlukovanie, t. j. keď do globálneho radu vstupovali všetky stanice na území Slovenska (Obr. 3 a 4). Súhrnné štatistiky zahrňujúce priemery, smerodajné odchýlky a koeficienty variácie boli vypočítané z ročných maxím priradených každému z piatich zhlukov, ako aj samostatne pre prípad, keď zhlukovanie nebolo aplikované (Tab. 2 a 3). V posledných troch stĺpcoch sú uvedené parametre GEV rozdelenia, ktoré boli odhadnuté na časových radoch modulových koeficientov. Pre každý identifikovaný zhluk sa vyhodnotili rozptyly (Tab. 4). Obe empirické výrazy pre vynášanie polohy členov radu (Cunnane vs. Dzubák) dávajú už na prvý pohľad takmer identické výsledky pri pravdepodobnostiach každoročného dosiahnutia alebo prevýšenia > 10 %, zatiaľ čo pri pravdepodobnostiach < 10 % výsledky oboch metód sa už trochu líšia.

To, či identifikované zhluky zrážkomerných staníc možno považovať za homogénne, je potrebné overiť aj štatisticky testovaním rozptylu. Priestorové rozptyly ($\sigma^2_{spatial}$) a rozptyly globálnych radov ($\sigma^2_{glob}$), vypočítané pre jednotlivé trvania dažďa individuálne pre všetkých päť zhlukov, ako aj v prípade bez použitia zhlukovania, sú uvedené v Tab. 2 a 3. V ďalšom kroku sa testovala nulová hypotéza $H_0$: $\sigma^2_{\text{spatial}} \leq \sigma^2_{\text{glob}}$ proti alternatívnej hypotéze $H_1$: $\sigma^2_{\text{spatial}} > \sigma^2_{\text{glob}}$. Test nulovej hypotézy bol uskutočnený pre testované kritérium $F_{calculated} = \sigma^2_{\text{spatial}}/\sigma^2_{\text{glob}}$. Vypočítali sa kritické hodnoty $F_{critical}$ (*Fischerovo-Snedecorovo* rozdelenie) pre stupne voľnosti ($v_1 = n_1 - 1$) a ($v_2 = n_2 - 1$) na zvolenej hladine významnosti $\alpha = 0{,}01$. Ak $F_{calculated} > F_{critical}$, nulovú hypotézu ($H_0$) zamietneme. Inými slovami, priestorový rozptyl $\sigma^2_{\text{spatial}}$ je menší ako rozptyl globálneho radu $\sigma^2_{\text{glob}}$. Ak $F_{calculated} \leq F_{critical}$, nezamietame nulovú hypotézu. Inými slovami, neexistuje štatisticky významný dôkaz, že priestorový rozptyl je väčší ako globálny rozptyl.

***Tabuľka 2. Priestorové rozptyly stredných hodnôt ročných maxím úhrnov zrážok*** ($\sigma^2_{spatial}$).

*Table 2. Spatial variances of means of rainfall annual maxima calculated* ($\sigma^2_{spatial}$).

| | d | Zhluk | | | | | Bez |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (dni) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | zhlukovania |
| ($\sigma^2_{spatial}$) | 1 | 4,135 | 3,872 | 6,898 | 4,097 | 3,656 | 6,158 |
| | 2 | 5,456 | 5,430 | 10,764 | 5,259 | 5,010 | 9,370 |
| | 3 | 6,223 | 7,107 | 12,901 | 6,191 | 5,846 | 11,271 |
| | 4 | 6,633 | 8,527 | 15,808 | 6,552 | 6,811 | 13,079 |
| | 5 | 6,710 | 9,998 | 16,948 | 6,881 | 7,216 | 14,245 |

***Tabuľka 3. Rozptyly stredných hodnôt ročných maxím úhrnov zrážok počítané z globálnych radov*** ($\sigma^2_{glob}$).

*Table 3. Variances of means of rainfall annual maxima calculated from the global series* ($\sigma^2_{glob}$).

| | d | Zhluk | | | | | Bez |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (dni) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | zhlukovania |
| ($\sigma^2_{glob}$) | 1 | 3,044 | 2,946 | 3,882 | 3,084 | 2,790 | 3,276 |
| | 2 | 3,842 | 3,889 | 5,339 | 3,961 | 3,563 | 4,366 |
| | 3 | 4,464 | 4,702 | 6,139 | 4,769 | 4,040 | 5,122 |
| | 4 | 4,910 | 5,496 | 6,984 | 5,059 | 4,510 | 5,754 |
| | 5 | 5,134 | 6,064 | 7,555 | 5,327 | 4,829 | 6,199 |

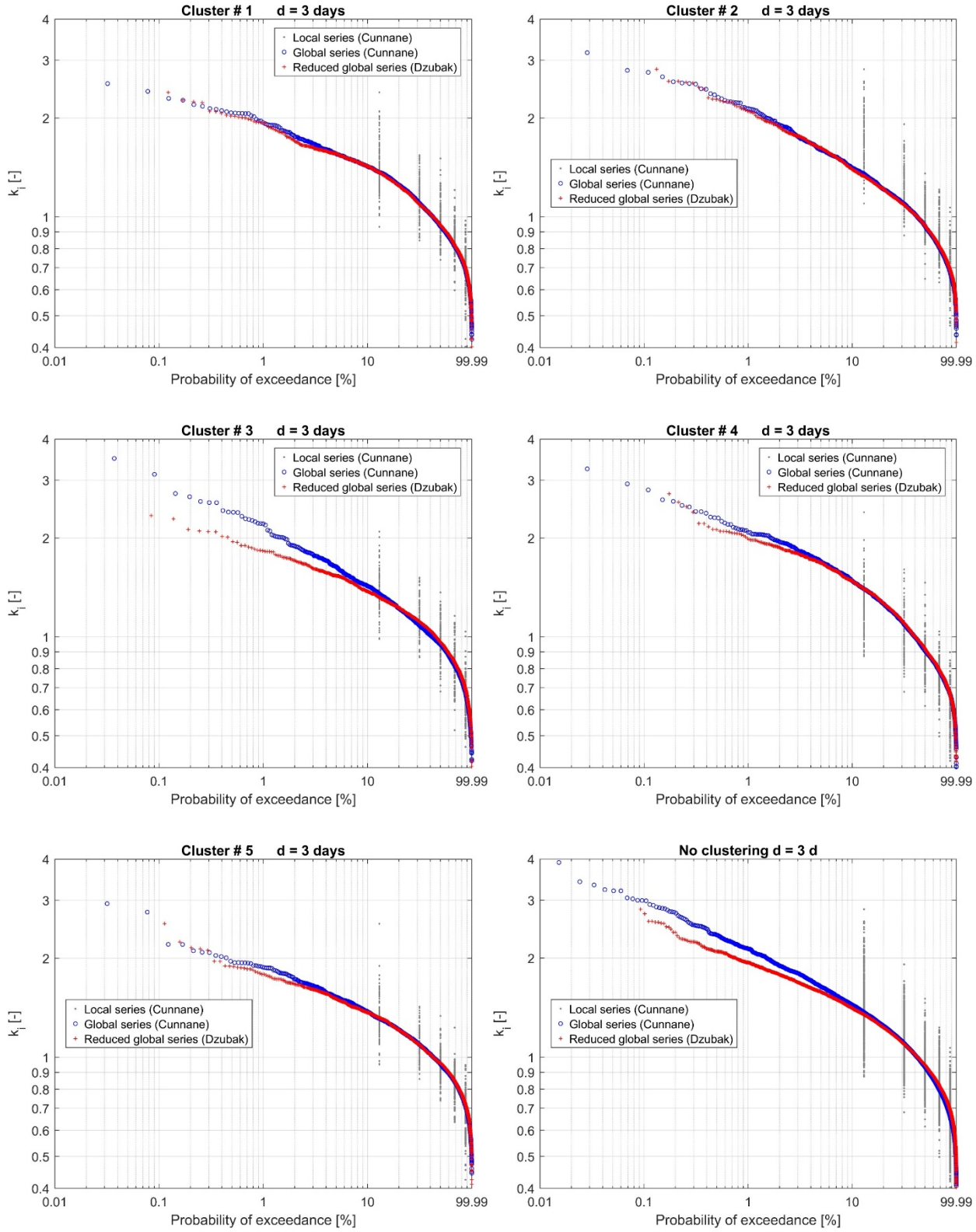
***Tabuľka 4. Pomery rozptylov*** ($F_{calculated} = \sigma^2_{spatial}/\sigma^2_{glob}$) ***a príslušné kritické hodnoty Fischerovo–Snedecorovo rozdelenia*** ($F_{critical}$) ***testované na hladine významnosti*** $\alpha = 0{,}01$ ***a stupne voľnosti*** $v_1$ ***a*** $v_2$.

*Table 4. Ratios of variances* ($F_{calculated} = \sigma^2_{spatial}/\sigma^2_{glob}$) *and critical values of the Fischerovo–Snedecor distribution* ($F_{critical}$) *tested at the significance level* $\alpha = 0.01$ *and degrees of freedom* $v_1$ *and* $v_2$

| | Zhluk | | | | | Bez |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | zhlukovania |
| $n_1$ | 109 | 123 | 94 | 123 | 110 | 559 |
| $n_2$ | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| $v_1 = n_1 - 1$ | 108 | 122 | 93 | 122 | 109 | 558 |
| $v_2 = n_2 - 1$ | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| $F_{critical}$ | **2,594** | **2,582** | **2,611** | **2,582** | **2,593** | **2,510** |
| $F_{calculated} = \sigma^2_{spatial}/\sigma^2_{glob}$ | | | | | | |
| 1 deň | 1,846✓ | 1,727✓ | ~~3,158~~ | 1,765✓ | 1,717✓ | ~~3,533~~ |
| 2 dni | 2,017✓ | 1,949✓ | ~~4,065~~ | 1,762✓ | 1,977✓ | ~~4,605~~ |
| 3 dni | 1,943✓ | 2,284✓ | ~~4,415~~ | 1,686✓ | 2,094✓ | ~~4,842~~ |
| 4 dni | 1,825✓ | 2,407✓ | ~~5,123~~ | 1,677✓ | 2,281✓ | ~~5,166~~ |
| 5 dni | 1,708✓ | ~~2,719~~ | ~~5,032~~ | 1,668✓ | 2,233✓ | ~~5,280~~ |

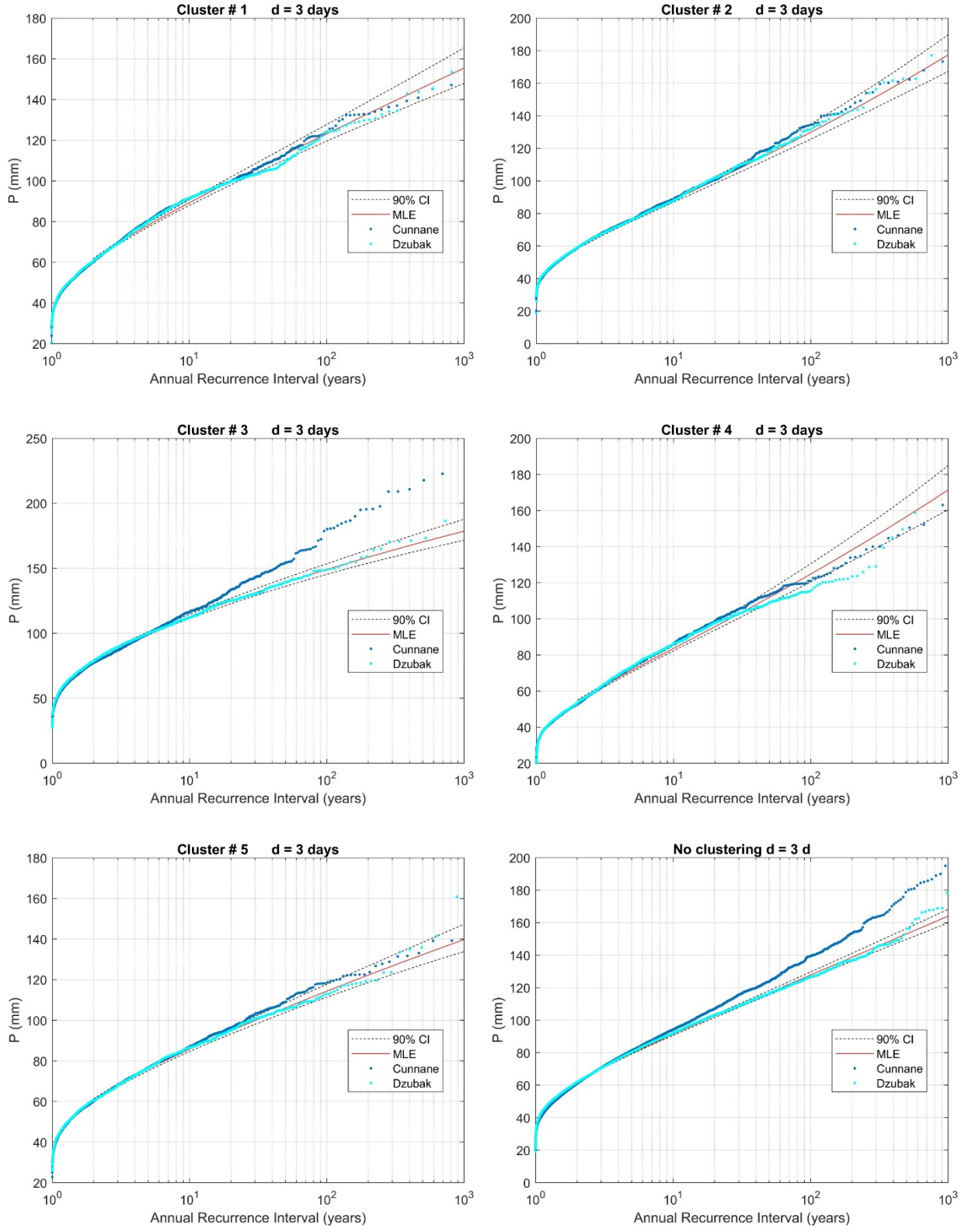
***Obrázok 2. Empirické pravdepodobnosti prekročenia modulových koeficientov počítaných z ročných maxím trojdňových úhrnov zrážok v rámci piatich zhlukov a zvlášť pre prípad bez zhlukovania.***

*Figure 2. Empirical exceedances of module coefficients of 3-day annual maxima in five clusters and for the case when no clustering was performed. The Cunnane's and Dzubák's plotting positions were used for the global series.*



***Obrázok 3. Kvantily 3-denných úhrnov zrážok odhadnuté pre GEv rozdelenie a empirický kvantily (Cunnane a Dzubák) pre päť zhlukov a prípad bez zhlukovania. s polohou. 90 % kredibilné intervaly (90 %CI) sú zobrazené ako prerušované čiary. Skratka MLE označuje maximálne vierohodný odhad.***

*Figure 3. Quantiles of 3-day rainfall fitted with GEV distribution and empirical quantiles (Cunnane's and Dzubák's plotting positions) for five clusters and the case when no clustering was performed. The 90% credibility intervals (90%CI) are as dotted lines. MLE stands for the maximum likelihood estimate.*



Najprv sa zamerajme na výsledky testovania rozptylu pre prípad, keď nebolo použité zhlukovanie, t. j. keď boli všetky zrážkomerné stanice z územia Slovenska použité na vytvorenie jedného globálneho radu (posledný stĺpec v Tab. 4). Hodnoty $F_{calculated}$ sú uvedené pre všetky hodnotené trvania dažďa $d$, t. j., od jedného dňa po päť dní. Ako možno vidieť v Tab. 4, pre všetky trvania dažďa $d$ je hodnota $F_{calculated}$ vyššia ako kritická hodnota $F_{critical}$ ($\alpha = 0{,}05$). Ako príklad môžeme uviesť situáciu pre jednodňové úhrny ($d = 1$ deň). Hodnota pomeru $\sigma^2_{spatial}/\sigma^2_{glob} = 3{,}533$ a kritická hodnota je $F_{critical} = 2{,}51$. Keďže $F_{calculated} > F_{critical}$, musíme zamietnuť nulovú hypotézu $H_0$: $\sigma^2_{spatial} \leq \sigma^2_{glob}$, a preto nie je možné vytvoriť globálny rad z ročných maxím zo všetkých staníc z celého územia Slovenska. Toto konštatovanie platí aj pre trvania dažďa $d = 2$, 3, 4 a 5 dní. Na základe porovnania kritických hodnôt $F$ možno vyvodiť záver, že nie je možné považovať celé územie Slovenska za jeden homogénny región z pohľadu kvantilov jeden až päťdenných úhrnov zrážok. Preto ďalším logickým krokom bolo pristúpiť k regionalizácii územia Slovenska. Fuzzy C-means zhlukovou analýzou sa zrážkomerné stanice z celého územia Slovenska rozčlenili do menších zhlukov, pričom každý z týchto zhlukov bol opäť podrobený $F$ testu. V prípade prvého zhluku bola hodnota pomeru $\sigma^2_{spatial}/\sigma^2_{glob} = 1{,}846$ pre trvanie $d = 1$ deň, a je teda nižšia ako príslušná kritická hodnota $F_{critical} = 2{,}594$. Z toho vyplýva, že tento zhluk je homogénny a rady ročných maxím, získaných zo zrážkomerných staníc lokalizovaných v rámci tohto zhluku, môžu byť použité na vytvorenie jedného globálneho radu a následne podrobené frekvenčnej analýze. Kompletná analýza rozptylu všetkých piatich zhlukov s trvaním dažďa $d = 1$ až 5 dní je uvedená v Tab. 4. Za zmienku stojí zhluk 3, v prípade ktorého nemôžeme na základe $F$ testu popísaného vyššie zlúčiť jednotlivé rady ročných maxím zrážkových úhrnov pozorovaných v zrážkomerných staniciach do jedného globálneho radu. V prípade dvojdenných i päťdenných úhrnov zhluk 2 taktiež vykazuje určitú nehomogenitu.

Na Obr. 4 sú zobrazené jednotlivé zhluky v rámci celého územia Slovenska spolu so zrážkomernými stanicami. Za zmienku stojí opäť zhluk 3, ktorý zahŕňa prevažne hrebeňové a vysokohorské polohy lokalizované prevažne v oblasti Vysokých a Nízkych Tatier. Keďže tento zhluk podľa analýzy rozptylu ($F$ testu) nemožno považovať za homogénny, a tento zhluk bude v budúcnosti potrebné podrobiť ďalšej podrobnejšej analýze, výsledkom by mohli byť subregionálne globálne rady. Výsledky frekvenčnej analýzy tohto zhluku nemusia byť preto spoľahlivé. Z jednotlivých globálnych radov sa metódami frekvenčnej analýzy vypočítali pravdepodobnosti prekročenia ročných maxím jeden až päťdenných úhrnov zrážok. Na Obr. 5 je uvedený len príklad pre kvantily vypočítané z globálnych radov pre dĺžku trvania dažďa $d = 3$ dni pre doby opakovania $T = 2 - 1000$ rokov.

## ZÁVER

V minulosti vzniklo viacero prác od slovenských autorov používajúcich regionálny prístup pri hodnotení pravdepodobnosti prekročenia denných a viacdenných úhrnov zrážok (napr. Markovič a Faško, 2025; Gaál et al., 2009a, 2009b; Gaál et al., 2008 a Gaál et al., 2007). Tieto práce využívajú metódu lineárnych momentov (L-momentov) pôvodne navrhnutú autormi Hosking a Wallis (1997), ktorá iba implicitne využíva koncept teorémy ergodicity (Dalrymple, 1960). Cieľom tohto článku bolo preto oboznámiť čitateľa s teorémou ergodicity a s jej základným matematickým aparátom. Ďalším cieľom bolo ukázať na praktickom príklade jej význam v regionálnej frekvenčnej analýze. Ide o metódu, ktorá je dodnes značne rozšírená v krajinách východnej Európy a v častiach bývalého Sovietskeho zväzu (Laboda, 2005; Kritskiy a Menkel, 1981; Alexeyev, 1967; Kalinin, 1971). V minulosti sa na našom území venoval explicitne problematike ergodicity v hydrológii len obmedzený počet prác (napr. Kupčo a kol., 2021; Kupčo, 1985; Dzubák, 1969). Je potrebné však podotknúť, že existuje viacero prác od slovenských autorov používajúcich metódu L-momentov a metódu vplyvného regiónu, spomedzi ktorých možno uviesť napr. Markovič a Faško (2005); Gaál et al. (2009a, 2009b), Gaál et al. (2008) a Gaál et al. (2007).

V tejto práci boli spracované kvantily 1 až 5 denných úhrnov atmosférických zrážok za obdobie 2001 – 2020. Metódou Fuzzy-C means zhlukovania bolo územie Slovenska rozčlenené do regiónov, pre ktoré sa vytvorili globálne rady a ktoré následne vstupovali do frekvenčnej analýzy. Vhodnosť tohto rozdelenia bola testovaná aj štatisticky analýzou rozptylu pomocou $F$ testu. Vysokohorské polohy a pohoria Nízkych a Vysokých Tatier boli identifikované zhlukovou analýzou Fuzzy-C means ako jeden zhluk, avšak následná analýza rozptylu nepreukázala jeho homogenitu. Pre každý zhluk (homogénny región) boli zostavené globálne rady, ktorých dĺžka ďaleko prevyšuje dĺžku radov pozorovaní v jednotlivých zrážkomerných staniciach. To umožnilo spracovať kvantily denných a viacdenných úhrnov zrážok pre široký rozsah pravdepodobnosti prekročenia ($p = 0{,}5 - 0{,}001$). S použitím Monte Carlo Markov Chain simulácií boli vypočítané aj neistoty vo forme 90 % kredibilných intervalov.

Aj keď nebolo cieľom tohto článku porovnať výsledky s inými prácami venujúcimi sa regionálnej frekvenčnej analýze zrážok z územia Slovenska, v budúcnosti bude zaujímavé porovnať výsledky (tvar a lokalizácie homogénnych regiónov, ale aj samotné kvantily) s inými štúdiami používajúcimi metódu regionalizácie (Hosking a Wallis, 1997) na regionálny odhad kvantilov návrhových hodnôt denných a viacdenných úhrnov zrážok (napr. Markovič a Faško, 2025; Gaál, 2009).

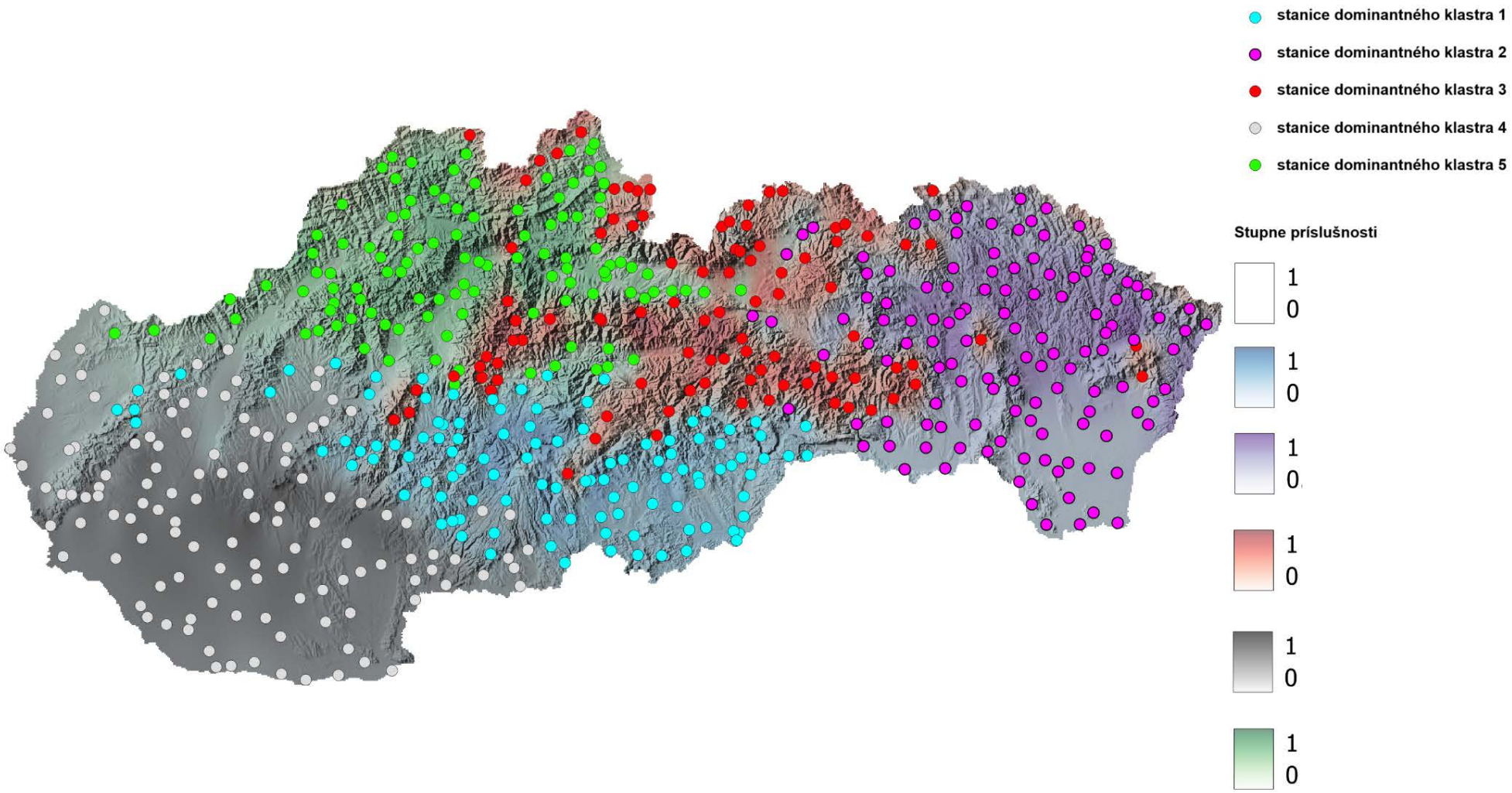
V kontexte prebiehajúcej zmeny klímy sa očakáva nestacionarita aj v externých úhrnoch zrážok (Onderka et al., 2024a, 2024b). Výhody konceptu ergodicity v regionálnej frekvenčnej analýze sú tie, že nám dovoľujú pracovať s krátkymi radmi pozorovaní. Spájanie kratších radov do globálneho radu má tú výhodu, že je splnený predpoklad stacionarity, čo by mohlo byť riešenie na odhad kvantilov v oblasti malých pravdepodobností v meniacej sa klíme.

### Poďakovanie

Táto práca bola podporená z projektu APVV č. 23-0332.

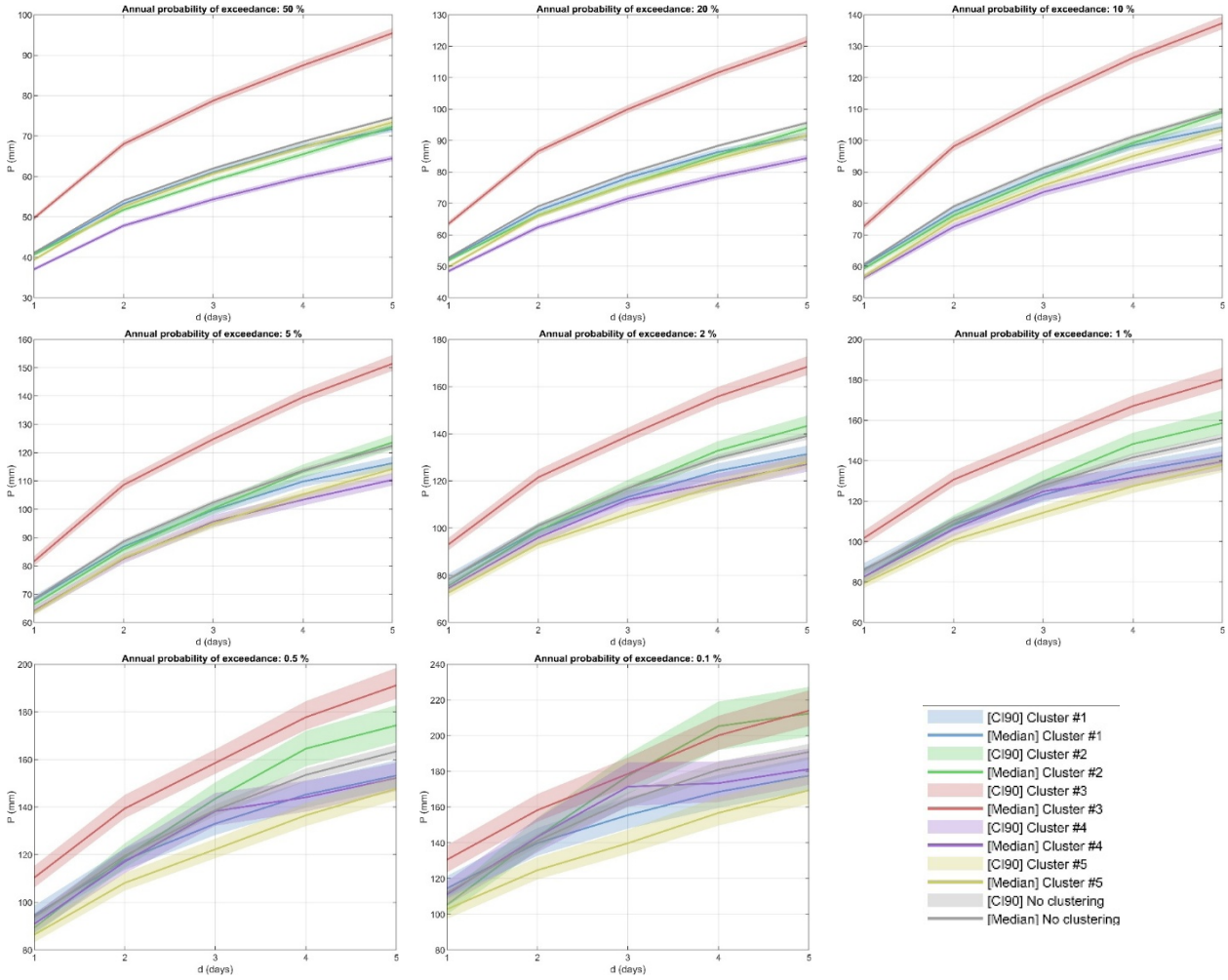
***Obrázok 4. Mapa identifikovaných regiónov a poloha zrážkomerných staníc. Farebné označenie staníc korešponduje s farbou dominantného zhluku. Na určenie dominancie klastra bolo použité pravidlo, podľa ktorého dominantným zhlukom je ten zhluk ktorý má najvyššiu hodnotu stupňa príslušnosti ku zhluku $u_{d,i,j}$.***

*Figure 4. Map of identified regions and the geographical location of rain gauges. The colour coding of rain gauges corresponds to the colour of the dominant cluster. Cluster dominance was determined from the degree of membership to a cluster* $u_{d,i,j}$.



***Obrázok 5. Kvantily 1 až 5 denných úhrnov dažďa pre pravdepodobnosti prekročenia ročných maxím (medián MCMC simulácií). Neistoty odhadovaných kvantilov sú vyjadrené ako 90 % kredibilné intervaly.***

*Figure 5. Quantiles of 1- to 5-day rainfall totals for probabilities of annual exceedance (medians of MCMC simulations). Uncertainties in the estimates are indicated as 90% credible intervals.*




## LITERATÚRA


*Alexeyev, G.A., 1967, Objective statistical methods of computation and generalization of the parameters of maximum rainfall runoff, IAHS Publication 84 (v ruštine), 114 – 138.*

*Beran, M.A.–Nozdryn-Plotnicki, M.J., 1977, Estimation of low return period floods. Hydrological Sciences Journal, 22:2, 275 – 282, https://doi.org/10.1080/02626667709491717.*

*Bezdek, J.C., 1981, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1.*

*Birkhoff, G.D., 1931, Proof of the Ergodic Theorem, Proceedings of the National Academy of Sciences, 17(12), https://doi.org/10.1073/pnas.17.2.656.*

*Buishand, T.A., 1991, Extreme rainfall estimation by combining data from several sites, Hydrological Sciences Journal, 36(4), https://doi.org/10.1080/02626669109492519.*

*Buishand, T.A.–de Haan, L.–Zhou, C., 2008, On spatial extremes: With application to a rainfall problem, Annals of Applied Statistics, 2(2), https://doi.org/10.1214/08-AOAS159.*

*Burn, D.H., 2014, A framework for regional estimation of intensity-duration-frequency (IDF) curves, Hydrological Processes, 28(14), https://doi.org/10.1002/hyp.10231.*

*Cheng, L.–AghaKouchak A.–Gilleland, E.–Katz, R.W., 2014, Non-stationary Extreme Value Analysis in a Changing Climate, Climatic Change, https://doi.org/10.1007/s10584-014-1254-5.*

*Chow, V.Te, 1964, Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water-resources Technology. McGraw-Hill Company; First Edition.*

*Coles, S.G., 2001, An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics, https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0.*

*Cunnane, C., 1978, Unbiased plotting positions - A review, Journal of Hydrology, 37(3–4), https://doi.org/10.1016/0022-1694(78)90017-3.*

*Dalrymple, T., 1960, Flood-Frequency Analyses. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1543-A.*

*Dobrovolski, S.G., 2000, Theoretical Foundations of the Stochastic Approach to Climate Variability Studies, Stochastic Climate Theory. Springer. Berlin. Heidelberg. [Preprint].*

*Dub, O.–Němec, J., 1969, Technický prúvodce. Svazek 34. SNTL – Nakladatelství technické literatury. Praha.*

*Eliáš, V., 1981, Extremální analýza krátkych hydrologických řad. Vodohospodársky časopis, 29(1), 20 – 32.*

*Dzubák, M., 1969, Distribution of daily precipitation amounts determined by global exceedance curves, Vodohospodársky časopis XVII, (in Slovak), 209 – 225.*

*Fowler, H.J.–Kilsby, C.G., 2003, A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000, International Journal of Climatology, 23(11), https://doi.org/10.1002/joc.943.*

*Haeuser, J., 1919, Kurze starke in Regenfälle in Bayern (Heavy rainfall of short duration in Bavaria. In: Abhandlungen des Kgl. Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München.*

*Hosking, J.R.M.–Wallis, J.R., 1997, Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments. Cambridge University Press.*

*Gaál, L. et al., 2009a, Hybrid Approach to Delineation of Homogeneous Regions for Regional Precipitation Frequency Analysis, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 57(4), https://doi.org/10.2478/v10098-009-0021-1.*

*Gaál, L., 2009b, Metódy výpočtu štatistických charakteristík návrhových hodnôt úhrnov zrážok na Slovensku. KEY Publishing s.r.o., Ostrava. ISBN: 978-80-7418-047-7.*

*Gaál, L.–Kyselý, J.–Szolgay, J., 2008, Region-of-influence approach to a frequency analysis of heavy precipitation in Slovakia. Hydrol. Earth Syst. Sci., 12, 825 – 839.*

*Gaál, L.–Lapin, M.–Faško, P., 2007, Process-based delineation of regions for a regional frequency analysis of multiday precipitation totals in the cold season in Slovakia. Contributions to Geophysics and Geodesy Vol. 37/3, 2007. 197 – 224.*

*Le Gall, P. et al., 2022, Improved Regional Frequency Analysis of rainfall data, Weather and Climate Extremes, 36, https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100456.*

*Hosking, J.R.M.–Wallis, J.R., 1997, Regional frequency analysis. An Approach based on L-moments. Cambridge University Press. ISBN-10 0-521-01940-0.*

*Hunter, M.D.–Fisher, Z.F.–Geier, C.F., 2024, What ergodicity means for you, Developmental Cognitive Neuroscience, 68, p. 101406, https://doi.org/10.1016/J.DCN.2024.101406.*

*Kalinin, G.P., 1971, Global hydrology. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations.*

*Koutsoyiannis, D., 2004a, Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I, Theoretical investigation. Hydrological Sciennces Journal, Vol. 49, Issue 4, s. 590, ISSN 2150-3435, https://doi.org/10.1623/hysj.49.4.575.54430.*

*Koutsoyiannis, D., 2004b, Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II, Empirical investigation of long rainfall records. Hydrological Sciences Journal. Vol. 49, Issue. 4, s. 610. ISSN 2150-3435, https://doi.org/10.1623/hysj.49.4.591.54424.*

*Kritskiy, S.N.–Menkel, M.F., 1970, On the Methodology of Joint Analysis of Runoff in Hydrologically Similar Basins. (v ruštine)*

*Kupčo, M., 1985, Exceedance curves of maximum discharge determined from short records, in. Collection of Papers of the Slovak Hydrometeorological Institute No.25. ALFA Bratislava, 9 – 88.*

*Kupčo, M., 1997, Odhad návrhových N-ročných prietokov v riečnej sieti homogénneho regiónu. J. Hydrol. Hydromech., 45(4), 226 – 251.*

*Kupčo, M.–Nejedlík, P.–Onderka, M., 2021, Problémy určovania intenzít krátkodobých dažďov na Slovensku. Meteorologický časopis, 24, 3 – 10.*

*Lin, G.F.–Chen, L.H., 2006, Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. Journal of Hydrology, 324(1 – 4), https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.009.*

*Loboda, N.S.–Glushkov, A.V.–Khokhlov, V.N., 2005, Using meteorological data for reconstruction of annual runoff series over an ungauged area: Empirical orthogonal function approach to Moldova-Southwest Ukraine region, Atmospheric Research, 77(1-4 SPEC. ISS.), https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.10.020.*

*Markovič, L.–Faško, P., 2024, Regional frequency analysis for maximum 5-day precipitation totals using L-moments approach in Slovakia. Theoretical and Applied Climatology. 155. 1 – 15, https://doi.org/10.1007/s00704-024-04970-2.*

*Olsson, J. et al., 2019, Short-duration rainfall extremes in Sweden: A regional analysis, Hydrology Research, 50(3), https://doi.org/10.2166/nh.2019.073.*

*Onderka, M. et al., 2023, Digital atlas of rainfall design intensities in Slovakia, Meteorological Journal, 26, pp. 27 – 38.*

*Onderka, M.–Pecho, J.–Szolgay, J.–Kohnová, S.–Garaj, M.–Mikulová, K.–Varšová, S.–Lukasová, V., 2024a, Applying a time-varying GEV distribution to correct bias in rainfall quantiles derived from regional climate models. Journal of Hydrology and Hydromechanics 72(4):499 – 512, https://doi.org/10.2478/johh-2024-0025.*

*Onderka, M.–Pecho, J.–Mikulová, K.–Lukasová, V.–Varšová, S., 2024b, Regionálne klimatické scenáre frekvencie výskytu dní so zrážkami na Slovensku. Meteorologický časopis, 27, 111 – 118, https://doi.org/10.62699/mj27.2x.33_2.*

*Papalexiou S.M.–Koutsoyiannis, D., 2013, Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall. Water Resources Research, Vol. 49, 187 – 201. ISSN 0043-1397, https://doi.org/10.1029/2012WR012557.*

*Peters, O., 2019, The ergodicity problem in economics. Nat. Phys. 15, 1216 – 1221, https://doi.org/10.1038/s41567-019-0732-0.*

*Ragno, E.–AghaKouchak, A.–Cheng, L.–Sadegh, M., 2019, A Generalized Framework for Process Informed Non–stationary Extreme Value Analysis, Advances in Water Resources, 130, 270 – 282, https://doi:10.1016/j.advwatres.2019.06.007.*

*Remiášová, R.–Gaál, L.–Hlavčová, K.–Szolgay, J., 2011, Priestorová regionalizácia návrhových zrážok na Slovensku. KEY Publishing s.r.o., Ostrava. ISBN: 978-80-7418-109-2.*

*Schlef, K.E. et al., 2023, Incorporating non-stationarity from climate change into rainfall frequency and intensity-duration-frequency (IDF) curves, Journal of Hydrology, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128757.*

*Serinaldi, F.–Kilsby, C.G., 2014, Rainfall extremes: Toward reconciliation after the battle of distributions. Water Resour Res. 50(1):336 – 352, https://doi.org/10.1002/2013WR014211.*

*Smith, B.–Prentice, I.C.–Sykes, M.T., 2001, Representation of vegetation dynamics in the modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space, Global Ecology and Biogeography, 10(6), 621 – 637.*

*Uffink, J., 2007, Compedium of foundations of classical statistical physics, In Handbook of the Philosophy of Science, North-Holland, ISBN 9780444515605, 923 – 1074, https://doi.org/10.1016/B978-044451560-5/50012-9.*

*Ulrich, J.–Fauler, F.S.–Rust, H.W., 2021, Modeling seasonal variations of extreme rainfall on different time scales in Germany. Hydrology and Earth Science Systems, Vol. 25, Issue 12, 6133 – 6149, https://doi.org/10.5194/hess-25- 6133-2021.*

*Volpi, E.–Mancini, C.P.–Fiori, A., 2024, What can we learn from long hydrological time-series? The case of rainfall data at Collegio Romano, Rome, Italy, Journal of Hydrology X, 23, p. 100176, https://doi.org/10.1016/J.HYDROA.2024.100176.*

*Wang, H. et al., 2009, Development and application of ergodicity model with FRCM and FLAR for hydrological process, Science in China, Series E: Technological Sciences, 52(2), https://doi.org/10.1007/s11431-008-0191-9.*

*Yaglom, A.M., 1987, Correlation Theory of Stationary and Related Random Functions. New York: Springer-Verlag.*

# KLASIFIKÁCIA UMIESTNENÍ METEOROLOGICKÝCH STANÍC SLOVENSKÉHO HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU PRE VYBRANÉ METEOROLOGICKÉ PRVKY PODĽA METODIKY WMO

**KAROL SEJÁK**

*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, karol.sejak@shmu.sk*

***Based on the Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), Part ANNEX 1.B. SITE CLASSIFICATIONS FOR SURFACE OBSERVING STATIONS ON THE LAND, the siting classification of selected meteorological stations for the elements of temperature and humidity and precipitation was carried out. According to the above-mentioned regulation, the representativeness and quality of air temperature and humidity measurements are affected by heat or cold sources near the sensor, the shadow cast by an obstacle around the sensor on the Stevenson screen or radiation shield, the height of the grass and the slope under the measured plot. The purpose of this contribution is to point out the way in which the classification was carried out at meteorological stations under the conditions of the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ). To determine the degree of shading on the Stevenson screen or radiation shield, the Theodolite HD mobile application was used in combination with a digital relief model with a resolution of 10 m. This application was also used to evaluate the location of rain gauges to measure the elevation angles of obstacles. To calculate the percentage of the surface of heat sources and water surfaces (unnatural surfaces), orthophoto image analysis in the QGIS application was used. The advantage of this approach is fast field work, with only a tripod and a mobile device with the iOS operating system required. The result is the background material for determining the representativeness of the measurement and classifying the station for the selected meteorological element into one of 5 categories (category 1 is the best and category 5 is the worst rating). For the assessment of the representativeness of the temperature and humidity measurements, these materials are a simplified radiation horizon created from the temperature and humidity measurement location and orthophoto images of the surroundings of the measurement point with a calculation of the percentage of the surface of heat sources and water surfaces at given distances from the measurement location. For the assessment of the representativeness of the precipitation measurement, the basis is a graph of elevation angles and azimuthal widths of obstacles. According to WMO regulations, in 2023 and 2024, a classification of the location of all meteorological stations in western Slovakia, except for the military station Kuchyňa, and all professional stations throughout Slovakia, except for the Lomnický štít and Chopok stations, was carried out in the field. From the evaluation of the given number of stations, it can be concluded that the main cause of the deteriorated evaluation for the element temperature and humidity (category 4 and category 5) is the shading caused by obstacles to the Stevenson screen or to the radiation cover of the temperature and humidity sensor.***

***Na základe príručky WMO k prístrojom a pozorovaniam (WMO-No. 8), časti ANNEX 1.B. SITING CLASSIFICATIONS FOR SURFACE OBSERVING STATIONS ON LAND bola realizovaná klasifikácia polôh vybraných meteorologických staníc pre prvky teplota a vlhkosť vzduchu a zrážky. Podľa vyššie zmieneného predpisu reprezentatívnosť a kvalitu meraní teploty a vlhkosti vzduchu ovplyvňujú zdroje tepla alebo chladu v blízkosti snímača, tieň ktorý vrhá prekážka v okolí snímača na meteorologickú búdku alebo radiačný kryt, výška trávy a sklon svahu pod merným pozemkom. Účelom tohto príspevku je poukázať na spôsob, akým sa klasifikácia realizovala na meteorologických staniciach v podmienkach SHMÚ. Pre stanovenia miery tienenia na meteorologickú búdku alebo radiačný kryt bola použitá mobilná aplikácia Theodolite HD v kombinácii s digitálnym modelom reliéfu s rozlíšením 10 m. Táto aplikácia bola taktiež využitá pri hodnotení umiestnenia zrážkomerov na zmeranie elevačných uhlov prekážok. Pre vyčíslenie percentuálneho podielu povrchu zdrojov tepla a vodných plôch (neprirodzených plôch) bola využitá analýza ortofoto snímok v aplikácii QGIS. Výhodou tohto prístupu je rýchla práca v teréne, pričom potrebný je len statív a mobilné zariadenie s operačným systémom iOS. Výsledkom je podkladový materiál pre stanovenie reprezentatívnosti merania a zaradenie stanice pre vybraný meteorologický prvok do jednej z 5 kategórií (1. kategória je najlepšie a 5. kategória najhoršie hodnotenie). Pre hodnotenie reprezentatívnosti merania teploty a vlhkosti vzduchu sú týmito podkladmi zjednodušený radiačný horizont vytvorený z miesta merania teploty a vlhkosti vzduchu a ortofoto snímok okolia bodu merania s vyčíslením percentuálneho podielu povrchu zdrojov tepla a vodných plôch v daných vzdialenostiach od miesta merania. Pre hodnotenie reprezentatívnosti merania zrážok je podkladom graf elevačných uhlov a azimutálnych šírok prekážok. Podľa predpisov WMO bola v rokoch 2023 a 2024 v teréne realizovaná klasifikácia umiestnenia všetkých meteorologických staníc na západnom Slovensku okrem vojenskej stanice Kuchyňa a všetkých profesionálnych staníc v rámci celého Slovenska okrem staníc Lomnický štít a Chopok. Z vyhodnotenia daného množstva staníc možno konštatovať, že hlavnou príčinou zhoršeného hodnotenia pre prvok teplota a vlhkosť vzduchu (kategória 4 a kategória 5) je tienenie spôsobené prekážkami na meteorologickú búdku alebo na radiačný kryt snímača teploty a vlhkosti vzduchu.***

***Key words: WMO siting classification for meteorological stations, Theodolite HD application, QGIS, sources of heat or cold, DTM (digital terrain model)***

https://doi.org/10.62699/mj28.2x.43
Available online: November 30, 2025

## ÚVOD

Klasifikácia umiestnenia staníc poskytuje odhad, do akej miery spĺňa umiestnenie jednotlivých meracích prístrojov odporúčania pre ich umiestnenie. Odberatelia údajov, ako napríklad klimatológovia, meteorológovia, ktorí používajú údaje, získajú rýchlu predstavu o tom, ako reprezentatívne môžu byť údaje pre daný región. Čím vyššiu, nepriaznivejšiu triedu hodnotenia má stanica pre daný prvok, tým bude potrebné podrobnejšie preskúmanie metadát. Klasifikácia uvádza pre niektoré klasifikačné stupne neistoty vyplývajúce z umiestnenia stanice. Navrhovaná maximálna „neistota" je uvedená v príručke WMO (Annex 1B) na dokumentáciu rádovej veľkosti chýb, ktoré môžu nastať pre danú triedu. Neznamená to, že všetky merania sú ovplyvnené takouto chybou. Niektoré ovplyvňujúce faktory môžu minimalizovať chyby spôsobené umiestnením, ako napríklad mierny alebo silný vietor na meranie teploty, bezvetrie alebo slabý vietor na meranie zrážok. Napriek tomu sa pri klasifikácii z dôvodu jednoduchosti a statickosti neberú do úvahy iné meteorologické parametre. Číselné hodnotenie by sa nemalo interpretovať tak, že stanica, ktorá dostala horšie hodnotenie, má nízku výpovednú hodnotu meraní a namerané dáta sú nepoužiteľné, pretože často existujú dôvody, pre ktoré sa stanica na danom mieste postavila (horské stanice, poľnohospodárske stanice...). Vo všeobecnosti kategória, v ktorej sa stanica nachádza, vypovedá o tom, či sú jej údaje reprezentatívne pre rozsiahlejšiu oblasť [1].

## UPLATŇOVANÉ KRITÉRIÁ PRE ZRIAĎOVANIE METEOROLOGICKÝCH STANÍC NA SHMÚ V MINULOSTI A SÚČASNOSTI

Jednou z priorít odboru Pozemné meteorologické siete v rámci SHMÚ sú kvalitné a reprezentatívne merania meteorologických prvkov z meteorologických a zrážkomerných staníc. Jedným z predpokladov kvalitných meraní a pozorovaní je aj vhodné a reprezentatívne umiestnenie stanice. Miesto pre meteorologickú stanicu vyberajú pracovníci SHMÚ (konkrétne správcovia sietí) a mali by sa riadiť nasledovnými zásadami: napríklad v Návode pre pozorovateľov meteorologických staníc ČSSR (1976) sú uvedené tieto:

- Rozmery merného pozemku musia mať minimálne 20 x 20 m;
- Stanica nesmie byť umiestnená v bezprostrednej blízkosti veľkých stavieb, vysokých stromov a podobných prekážok;
- V prípade, že stanica musí byť umiestnená v meste, okolie stanice má byť dostatočne voľné a vzdialenosti všetkých prekážok od stredu pozemku majú najmenej štvornásobne prevyšovať ich vlastnú výšku. Vo vzdialenosti 25 m od stredu pozemku nemajú byť prekážky vyššie ako 2 m;
- Stanica musí byť oplotená, najvhodnejšie drôteným pletivom a v miestach s vysokou snehovou pokrývkou prípadne aj iným vhodným spôsobom, ktorý by umožnil nerušené vetranie pozemku (plot z drevených latiek).
- Všetky zmeny v okolí stanice sa zaznamenávajú v dokumentoch stanice, aby sa mohol posúdiť ich vplyv na výsledky meteorologických pozorovaní. Pozorovateľ je preto povinný sledovať a oznamovať HMÚ (Hydrometeorologickému ústavu) väčšie zmeny v blízkom okolí stanice, napríklad výstavbu alebo vyrúbanie stromov, zakladanie vodných nádrží úpravu terénu [3].

Pre zrážkomer sa uvádza, že musí byť umiestnený na mernom pozemku s minimálnymi rozmermi 10 x 10 m, položenom na dostatočne voľnom priestranstve, ktoré je prístupné zrážkam padajúcim zo všetkých strán obzoru, teda mimo tzv. zrážkového tieňa akýchkoľvek prekážok. Odporúča sa, aby všetky okolité predmety, napríklad budovy, stromy, ploty a pod. boli od zrážkomeru vzdialené najmenej štvornásobok svojho prevýšenia voči nemu. Minimálna prístupná vzdialenosť prekážok od zrážkomeru sa rovná dvojnásobku ich výšky. Na vlastnom pozemku nesmú byť žiadne predmety, ktoré prevyšujú zrážkomer. Miesto na meranie zrážok však nesmie byť veterné, aby vietor neprenášal dážď a najmä, aby vírivým pohybom nevyhadzoval z nádoby sneh. Na umiestnenie je najvhodnejší voľný trávnik v oplotenej záhrade, napríklad zeleninovej, alebo priestranný dvor, ktorý nemôže byť voľne prístupný vetru. Zrážkomer sa nesmie umiestňovať na streche, veži, balkóne, vysokej plošine a pod. Pri umiestnení na mernom pozemku základnej alebo doplnkovej stanice musí byť zrážkomer vo vzdialenosti najmenej 4 m od žalúziovej búdky.

V zborníku predpisov Zriaďovanie a inšpekcia meteorologických staníc (Praha 1970) sa uvádza, že je potrebné sa vyhnúť miestam, kde sa môžu prejaviť účinky mikroklímy. To môžu byť prudké svahy, úzke doliny, blízke vodné plochy (najmenej 100 m od brehu). Pokiaľ je stanica zriaďovaná v horách, je najlepšie vyhľadať pre merný pozemok viac-menej rovné plató alebo mierny sklon (do 15°), podľa možností ďalej od príkrych svahov hôr. Umiestneniu v kotlinách je najlepšie sa vyhnúť [5].

### Homogenita meteorologických pozorovaní

Hlavným cieľom meteorologických staníc je získavanie meteorologických dát pre výskum zákonitostí počasia a klímy. Ďalším cieľom je zostavenie klimatologických charakteristík ako jednotlivých miest, tak väčších územných celkov. Na tieto účely je potrebný dlhodobý rad homogénnych pozorovaní, napr. 30-ročných, aby sa podľa nich dali sledovať eventuálne zmeny klímy. Pod homogenitou pozorovaní sa rozumie zachovanie nepretržitého radu kvalitných pozorovaní v rovnakých podmienkach. Rovnaké podmienky sú zaistené vtedy, ak (Návod pre pozorovateľov meteorologických staníc ČSSR (1972), HMÚ, 2. vydanie):

- Stanica zostáva bez premiestnenia na jednom mieste a v jej okolí sa nedejú žiadne zmeny, ktoré by mohli ovplyvniť skutočný priebeh počasia na stanici, resp. zmeniť mikroklímu (rast stromov, výstavba, vybudovanie vodných nádrží);
- Typy prístrojov a ich inštalácia sa nemení;
- Metódy a termíny pozorovania zostávajú bez zmien;
- Vzhľadom na to, že vizuálne pozorovanie pozorovateľom býva ovplyvnené subjektívnymi chybami

pozorovateľa, môže rad pozorovaní stratiť svoju homogenitu i pri zmene pozorovateľa [4].

Posledný bod však aktuálne predstavuje stále menšiu časť vplyvu, pretože vplyv pozorovateľa sa vzhľadom na automatizáciu siete bude prejavovať stále v menšej miere (pokiaľ sa v nastolenom trende automatických meraní bude pokračovať).

### Zriaďovanie a umiestňovanie meteorologických staníc (praktické problémy súčasnosti)

Aktuálne v podmienkach SHMÚ je priam nemožné vyššie uvedené podmienky splniť. Meteorologické a zrážkomerné stanice je čoraz ťažšie vhodne umiestniť. Čoraz väčší problém je nájsť vhodný pozemok a ešte väčší problém nájsť pozorovateľa, ktorý by bol ochotný pre SHMÚ vykonávať kvalitné pozorovania počas niekoľkých rokov, ideálne desaťročí. Jeden z dôvodov je dlhodobé podfinancovanie SHMÚ, a tým pádom aj veľmi nízke (symbolické) odmeny pre majiteľov pozemkov, ktorí sú ochotní poskytnúť svoj vlastný pozemok na účely umiestnenia stanice. Okrem toho, okolie meteorologických a zrážkomerných staníc je často vystavené urbanizácii, napríklad výstavbe parkovísk a ciest. Veľmi často podlieha okolie staníc rastu vysokej vegetácie. Nie vždy je možné zariadiť úpravu okolia pozemku tak, aby spĺňala vyššie uvedené kritériá. V dobe, keď do popredia prichádza čoraz intenzívnejšie globálna klimatická zmena, je nutné sa zaoberať aj problémami kvality údajov vyplývajúcich priamo z umiestnenia stanice. S príchodom a rozširovaním automatickej meteorologickej a zrážkomernej siete sa vplyv pozorovateľa na meranie meteorologických prvkov marginalizuje, a preto systematické neistoty dané umiestnením stanice predstavujú možný najvýraznejší druh neistoty merania, hlavne, ak požadujeme reprezentatívne údaje pre širokú oblasť sledovaného regiónu.

## KLASIFIKÁCIA UMIESTNENIA KLIMATOLOGICKÝCH STANÍC PODĽA METODIKY WMO - SPOLOČNEJ ISO/WMO NORMY 19289:2014(E)

V tejto kapitole si podrobnejšie povieme o tomto dokumente, ktorý vysvetľuje okrem účelu klasifikácie (úvod tohto článku) klasifikačné kritériá a systém hodnotenia meteorologických prvkov. Na začiatku je nutné uviesť, že hodnotiť sa má 5 meteorologických prvkov a každý prvok môže dostať 5 tried reprezentatívnosti. Menovite sú to prvky:

- Teplota a vlhkosť vzduchu;
- Zrážky;
- Vietor;
- Globálne a difúzne žiarenie;
- Priame žiarenie a trvanie slnečného svitu;

V nasledujúcich riadkoch sa budeme venovať samotným kritériám hodnotenia pre teplotu a vlhkosť vzduchu a zrážky. Najpodstatnejšou a najnáročnejšou časťou je získať taký druh informácií, na základe ktorých sme schopní stanicu pre týchto 5 prvkov klasifikovať.

***Teplota a vlhkosť vzduchu:*** pri teplote vzduchu je nutné si odpovedať na 4 faktory, ktoré ovplyvňujú výsledné hodnotenie (pre vlhkosť vzduchu sú faktory identické ako pri teplote vzduchu). Sú to:

- Tienenie na radiačný kryt alebo meteorologickú búdku od okolitých prekážok (stromov, domov...), pričom jediný posudzujúci faktor je výška Slnka nad horizontom, od ktorej už nemôže byť vrhaný tieň. Neuvažuje sa o dĺžke trvania zatienenia krytu snímača prekážkou a ani o ročnej dobe alebo charaktere prekážky. Pre jednotlivé triedy platí nasledovné:
  - TRIEDA 1 – nemôže byť vrhaný tieň, ak je Slnko vyššie ako 5° nad horizontom;
  - TRIEDA 2 – nemôže byť vrhaný tieň, ak je Slnko vyššie ako 7° nad horizontom;
  - TRIEDA 3 – nemôže byť vrhaný tieň, ak je Slnko vyššie ako 7° nad horizontom (ako TRIEDA 2);
  - TRIEDA 4 – nemôže byť vrhaný tieň, ak je Slnko vyššie ako 20° nad horizontom;
  - TRIEDA 5 – Slnko je vyššie ako 20° nad horizontom a na kryt je vrhaný tieň.
- Percentuálny podiel plochy zdrojov tepla alebo chladu k celkovej kritériami definovanej ploche okolia snímača:
  - TRIEDA 1 – zdroj tepla (alebo vodná plocha) musí zaberať menej alebo nanajvýš 10 % z povrchu kruhu s polomerom 100 m od bodu merania (snímača), tvorí nanajvýš 5 % z medzikružia 10 – 30 m od snímača alebo pokrýva nanajvýš 1 % plochy do vzdialenosti 10 m od snímača;
  - TRIEDA 2 – zdroj tepla (alebo vodná plocha) musí zaberať menej alebo nanajvýš 10 % z povrchu do vzdialenosti 30 m od bodu merania (snímača), tvorí nanajvýš 5 % z medzikružia, 5 – 10 m od snímača alebo pokrýva nanajvýš 1 % plochy do vzdialenosti 5 m od snímača;
  - TRIEDA 3 – zdroj tepla (alebo vodná plocha) musí zaberať menej alebo nanajvýš 10 % z povrchu do vzdialenosti 10 m od bodu merania (snímača) alebo pokrýva nanajvýš 5 % plochy do vzdialenosti 5 m od snímača;
  - TRIEDA 4 – zdroj tepla (alebo vodná plocha) musí zaberať menej alebo nanajvýš 50 % z povrchu do vzdialenosti 10 m od bodu merania (snímača) alebo pokrýva nanajvýš 30 % plochy do vzdialenosti 3 m od snímača;
  - TRIEDA 5 – nie sú splnené podmienky pre TRIEDU 4.
- Sklon terénu:
  - TRIEDA 1 – sklon svahu (terénu) menší ako 19°;
  - TRIEDA 2 – sklon svahu (terénu) menší ako 19°;
  - TRIEDA 3 – neuvádza sa, resp. nevyhovie TRIEDE 2;
  - TRIEDA 4 – neuvádza sa;
  - TRIEDA 5 – neuvádza sa.

- Výška vegetácie:
  - TRIEDA 1 – výška vegetácie (výška trávy na mernom pozemku) < 10 cm;
  - TRIEDA 2 – výška vegetácie (výška trávy na mernom pozemku) < 10 cm;
  - TRIEDA 3 – výška vegetácie (výška trávy na mernom pozemku) < 25 cm;
  - TRIEDA 4 – neuvádza sa, resp. nevyhovie TRIEDE 3;
  - TRIEDA 5 – neuvádza sa.

Posledný faktor (výšku vegetácie) je možné odhadnúť z empirickej skúsenosti asistentov pre meteorológiu a klimatológiu, technikov, mechanikov a pozorovateľov v SHMÚ. Profesionálne stanice sú však zaručene kosené pravidelne tak, aby boli vždy zachované ideálne podmienky. Ostatné stanice, obzvlášť typu MSA (meteorologické stanice automatické), majú často problém s vyššou trávou. Je to preto, lebo stanice tohto typu sú na pozemkoch, kde nie je pozorovateľ, a preto je výšku trávy možné odpozorovať len veľmi ťažko. Kosenie potom najčastejšie zabezpečí asistent pre meteorológiu a klimatológiu a pokosenie vykoná mechanik SHMÚ. Faktor sklon terénu sa veľmi ťažko hodnotí, nie je riadne definovaný. V prudkom svahu (viac ako 19°) nie je umiestnená žiadna zo staníc SHMÚ, ktoré sú uvedené v Tab 1.

***Tienenie, ktoré spôsobuje prirodzený reliéf*:** Primárnym cieľom tejto klasifikácie je zdokumentovať prítomnosť prekážok v blízkosti miesta merania, preto sa prirodzený reliéf krajiny nemusí brať do úvahy, ak je ďaleko (t. j. > 1 km). Metóda na posúdenie, či je reliéf reprezentatívny pre okolitú oblasť, je nasledovná: zmení posunutie stanice o 500 m nadobudnutú triedu? Ak je odpoveď nie, reliéf je prirodzenou charakteristikou oblasti a nezohľadňuje sa. Zložitý terén alebo mestské oblasti vo všeobecnosti vedú k vysokým číslam tried. V takýchto prípadoch sa k číslam tried 4 alebo 5 môže pridať dodatočný príznak „S“, ktorý označuje špecifické prostredie alebo aplikáciu (t. j. 4S) [1].

***Neistoty (chyby) uvádzané pre meranie teploty vzduchu pri jednotlivých kategóriách:*** v dokumente je poskytnutá informácia o maximálnej neistote merania pre jednotlivé triedy spôsobenej umiestnením snímača teploty vzduchu nasledovne:

- TRIEDA 1 – neistota sa neuvádza (ideálne podmienky);
- TRIEDA 2 – neistota sa neuvádza;
- TRIEDA 3 – neistota do 1 °C;
- TRIEDA 4 – neistota do 2 °C;
- TRIEDA 5 - neistota do 5 °C.

***Zrážky:*** Vietor je najväčším zdrojom neistôt pri meraní zrážok v dôsledku vplyvu prístroja na prúdenie vzduchu. Pokiaľ nie sú zrážkomery umelo chránené, napríklad proti vetru protiveternou ochranou, najlepšie miesta sa často nachádzajú na čistinkách v lesoch alebo sadoch, medzi stromami, v krovinách alebo krovinatých lesoch alebo tam, kde iné objekty fungujú ako účinný vetrolam pre vetry vanúce zo všetkých smerov. Ideálne podmienky pre inštaláciu sú tie, kde je zariadenie umiestnené v oblasti rovnomerne obklopenej prekážkami rovnakej výšky. Prekážka je objekt s efektívnou uhlovou šírkou 10° alebo viac. Ak prekážky nie sú jednotné, sú náchylné na vytváranie turbulencií, ktoré skresľujú merania, pričom tento efekt je výraznejší pri tuhých zrážkach. Orientácia takýchto prekážok vzhľadom na prevládajúci smer vetra sa zámerne neberie do úvahy. V skutočnosti sú silné zrážky často spojené s konvektívnymi faktormi, pričom smer vetra nemusí nevyhnutne zodpovedať smeru prevládajúceho vetra. Prekážky sa považujú za prekážky s rovnakou výškou, ak je pomer medzi najvyššou a najnižšou výškou prekážky menší ako 2. V prípade merania atmosférických zrážok sa jednotlivé kategórie delia len podľa uhla, ktorý zviera horná rovina zrážkomeru s prekážkou a podľa sklonu terénu pod zrážkomerom (zrážkomernou stanicou). Podmienky pre jednotlivé triedy sú nasledovné [1]:

- Uhol, ktorý zviera horná rovina zrážkomera s prekážkou:
  - TRIEDA 1 – Zrážkomer musí byť obklopený nízkymi prekážkami jednotnej výšky, t. j. uhly, ktoré zviera horná rovina zrážkomera s prekážkami majú byť medzi 14 a 26° (prekážky vo vzdialenosti medzi 2- a 4-násobkom ich výšky);
  - TRIEDA 2 – Možné prekážky musia byť umiestnené v minimálnej vzdialenosti 2-násobku výšky prekážky (uhol ≤ 26,5°);
  - TRIEDA 3 – Možné prekážky musia byť vo vzdialenosti väčšej, ako je výška prekážky (uhol ≤ 45°);
  - TRIEDA 4 – Možné prekážky musia byť vo vzdialenosti väčšej, ako je ½ výšky prekážky (uhol ≤ 63,4°);
  - TRIEDA 5 – Prekážky sú bližšie ako ½ ich vlastnej výšky.
- Sklon terénu:
  - TRIEDA 1 – Rovinatý, otvorený pozemok. Sklon menší ako 19°;
  - TRIEDA 2 – Rovinatý, otvorený pozemok. Sklon menší ako 19°;
  - TRIEDA 3 – Otvorený pozemok. Sklon menší alebo rovný 30°;
  - TRIEDA 4 – Pozemok v strmom svahu, sklon väčší ako 30°;
  - TRIEDA 5 – Neuvádza sa.

***Neistoty (chyby) vyplývajúce z umiestnenia zrážkomeru uvádzané pre meranie zrážok pri jednotlivých kategóriách:***

- TRIEDA 1 – neistota sa neuvádza (ideálne podmienky);
- TRIEDA 2 – chyba do 5 %;
- TRIEDA 3 – chyba do 15 %;
- TRIEDA 4 – chyba do 25 %;
- TRIEDA 5 – chyba do 100 %.

Klimatologické a zrážkomerné stanice SHMÚ nie sú vybavené zrážkomermi s protiveternou ochranou, preto sa ani v tomto článku neuvádza kritérium týkajúce sa zrážkomerov s protiveternou ochranou. Rozdiel v kritériách medzi týmito typmi zrážkomerov je uvádzaný iba pre 1. triedu, pre ďalšie triedy sa neuvádza.

## Odporúčané metódy a pomôcky

Podľa *https://slideplayer.com/slide/7548147/*, ktorej autorom je Michel Leroy (METEO–FRANCE), je často nevyhnutné merať eleváciu, pod ktorou vidíme prekážku. Kľúčové je meranie veľkých uhlov pre zrážky (14°, 26,5°, 45°) a malých pre radiáciu (3°, 5°, 7°). Výšky a vzdialenosti musia byť zmerané pre klasifikáciu vetra. Umiestnenie vzhľadom na umelé povrchy (zdroje tepla alebo vodné plochy) sa musí vyhodnotiť pre klasifikáciu teploty vzduchu – používajú sa mapy, letecké alebo satelitné snímky (Google Earth), vyhodnotenie na mieste (nákresy).

Odporúčané pomôcky: Pre meranie vzdialeností, elevácie a azimutu – diaľkomery. Pre meranie elevácie/azimutu – optický teodolit, systémy určené pre solárnu energiu (SunEye-210), aplikácia pre iPhone Solmetric iPV (pomocou fotoaparátu, senzora náklonu (inclinometra a kompasu)). Pravouhlé trojuholníky s ostrým uhlom voči odvesne (14°, 26,5°, 45°) predstavujú najjednoduchšiu a najlacnejšiu metódu založenú na tom, či daný inšpektor (zamestnanec vykonávajúci klasifikáciu) vidí alebo nevidí prekážku pod daným uhlom.

## Príklad realizácie klasifikácie vo svete

Nórsky meteorologický ústav postupne aplikuje klasifikáciu podľa odporúčaní WMO [2]. Od roku 2012 klasifikujú ročne 60 až 80 zrážkomerných staníc, pričom problémy a skúsenosti spojené s klasifikáciou a jej vykonávaním v teréne sa pravidelne analyzujú. V roku 2013 bolo klasifikované meranie teploty vzduchu na 20 staniciach. Premenlivosť polohy Slnka nad obzorom predstavuje výraznú komplikáciu v prípade tienenia snímača a vystavenie jednej univerzálnej známky je preto problematické. Príkladom je stanica, ktorá je ovplyvnená tienením na senzor len v jednom mesiaci. Vystavenie jednej známky preto nie je reprezentatívne pre zvyšných 11 mesiacov v roku. Počas klasifikovania boli zohľadnené a testované rôzne nástroje na meranie v teréne. Bol zvolený laserový zameriavač LEICA DISTO D8. Skúsenosti s týmto zariadením však preukázali, že počas jasných dní nefunguje spoľahlivo. Príležitostne bol použitý aj širokouhlý fotoaparát, tzv. fisheye camera, pričom sa na tento účel testovali aj aplikácie do mobilných telefónov. Optimalizácia práce v teréne stále prebieha, rovnako vyhodnocovanie skúseností s mobilnými aplikáciami je vysoko žiadúce. Odporúčaná je aj diskusia medzi pracovníkmi v teréne.

## Klasifikácia 40 meteorologických staníc SHMÚ pre teplotu a vlhkosť vzduchu a atmosférické zrážky

Klasifikovanie desiatok, v budúcnosti až stoviek meteorologických alebo zrážkomerných staníc (periodicky), si vyžaduje relatívne jednoduchý, hlavne lacný, a teda efektívny nástroj. Na SHMÚ je k dispozícii 1 teodolit, resp. ide o totálnu stanicu CYGNUS 2LS. Výhodou takéhoto profesionálneho prístroja je vysoká presnosť, nevýhodou je cena (tisíce eur za kus), ťažkopádne ovládanie (minimálne pre laika) a potreba personálu, ktorý vie takýto profesionálny prístroj ovládať. Vzhľadom na počet staníc, ktorými disponuje SHMÚ, je v budúcnosti nemožné, aby klasifikáciu v teréne vykonával len jeden zamestnanec, hoci aj s profesionálnou totálnou stanicou. Potrebné je jednoduchšie a lacnejšie riešenie s akceptovateľnou presnosťou. Zmienená aplikácia Solmetric iPV je už nedostupná, preto bolo treba nájsť alternatívu. Vzhľadom na finančné a personálne možnosti v SHMÚ sa osvedčila mobilná aplikácia a tablet so statívom. Na trhu s aplikáciami nebolo na výber. Jediná, aktuálne dostupná aplikácia, je Theodolite HD určená len pre operačný systém iOS, resp iPadOS. Pre operačný systém android aktuálne neexistuje podobná aplikácia. Cena aplikácie je 9 eur (jednorázovo). Cena iPadu sa pohybuje okolo 400 až 600 eur. Potrebný je ešte statív (rádovo 50 až 100 eur). Čo sa týka neprirodzených plôch a vyhodnotenia tejto časti klasifikácie, ako najideálnejšie riešenie sa ukázalo využitie ortofotosnímok z katastrálneho portálu a ich spracovanie v aplikácií QGIS.

Výsledkom použitia aplikácie je csv súbor s uhlami, ktoré sú potrebné pre ďalšie spracovanie do formy zjednodušeného radiačného horizontu.

## Klasifikované meteorologické stanice

Pôvodným cieľom bolo zrealizovať klasifikáciu polôh profesionálnych meteorologických staníc a podľa možností sa pokúsiť o rozšírenie na ďalšie typy staníc SHMÚ.

Výber ďalších klasifikovaných staníc mal hlavne praktické konotácie vzhľadom na to, že autor tohto článku bol aj súčasne vykonávateľom terénnych meraní a celej klasifikácie, prioritou sa stali stanice patriace pod pracovisko autora (Bratislava). V budúcnosti by mali vykonávať terénne merania správcovia sietí.

## Typy klasifikovaných staníc z hľadiska režimu meraní a pozorovaní

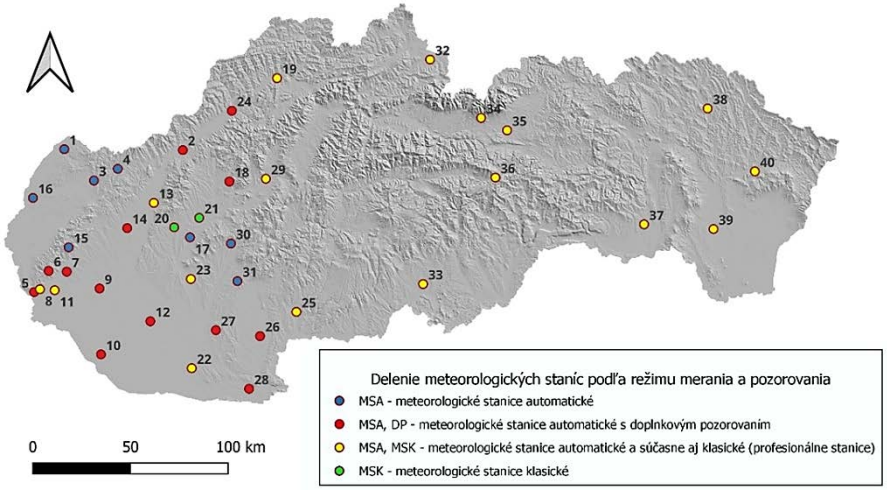
V Tab. 1 je uvedený zoznam 40 meteorologických staníc. V tabuľke je uvedený aj tzv. režim stanice. Stanice sú buď klasické, alebo automatické (alternatívne ich kombinácia):

- MSA – meteorologické stanice automatické (8);
- MSA, DP – meteorologické stanice automatické s doplnkovým pozorovaním (13);
- MSA, MSK – meteorologické stanice automatické a súčasne aj klasické, tzv. profesionálne stanice (17);
- MSK – meteorologické stanice klasické (2).

***Tabuľka 1. Meteorologické stanice SHMÚ, klasifikované na ich umiestnenie pre teplotu vzduchu a zrážky v rokoch 2023 a 2024 (stanice označené hviezdičkou * sú profesionálnymi meteorologickými stanicami).***

*Table 1. Meteorological stations of SHMÚ, classified by their locating for air temperature and precipitation in 2023 and 2024 (stations marked by star * are professional stations).*

| Poradové číslo | Indikatív | Stanica | Dátum klasifikácie | Režim stanice | Klasifikácia teploty a vlhkosti vzduchu | Klasifikácia zrážok |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11800 | Holíč | 26.9.2024 | MSA | 3 | 2 |
| 2 | 11803 | Trenčín | 14.5.2024 | MSA DP | 4 | 2 |
| 3 | 11805 | Senica | 6.7.2024 | MSA | 5 | 3 |
| 4 | 11806 | Myjava | 15.8.2024 | MSA | 5 | 4 |
| 5 | 11810 | Bratislava-Mlynská dolina | 19.7.2024 | MSA DP | 4 | 3 |
| 6 | 11812 | Malý Javorník | 10.8.2024 | MSA DP | 5 | 3 |
| 7 | 11815 | Slovenský Grob | 17.7.2024 | MSA DP | 5 | 5 |
| 8 | 11813 | Bratislava-Koliba* | 23.5.2023 | MSA MSK | 4 | 3 |
| 9 | 11817 | Kráľová pri Senci | 27.3.2024 | MSA DP | 4 | 2 |
| 10 | 11818 | Gabčíkovo | 27.3.2024 | MSA DP | 4 | 4 |
| 11 | 11816 | Bratislava-letisko* | 22.3.2024 | MSA MSK | 3 | 2 |
| 12 | 11820 | Žihárec | 3.10.2024 | MSA DP | 4 | 2 |
| 13 | 11826 | Piešťany* | 26.3.2024 | MSA MSK | 4 | 2 |
| 14 | 11819 | Jaslovské Bohunice | 23.9.2024 | MSA DP | 2 | 2 |
| 15 | 11833 | Modra-Piesok | 17.7.2024 | MSA | 5 | 3 |
| 16 | 11835 | Moravský Svätý Ján | 26.9.2024 | MSA | 4 | 3 |
| 17 | 11838 | Kamanová | 22.8.2024 | MSA | 4 | 2 |
| 18 | 11839 | Uhrovec | 17.10.2024 | MSA DP | 4 | 2 |
| 19 | 11841 | Dolný Hričov* | 10.10.2023 | MSA MSK | 4 | 2 |
| 20 | 11846 | Veľké Ripňany | 3.10.2024 | MSK | 4 | 2 |
| 21 | 11847 | Topoľčany | 23.9.2024 | MSK | 5 | 2 |
| 22 | 11858 | Hurbanovo* | 27.3.2024 | MSA MSK | 5 | 2 |
| 23 | 11855 | Nitra-Veľké Janíkovce* | 22.8.2023 | MSA MSK | 3 | 2 |
| 24 | 11862 | Beluša | 22.2.2024 | MSA DP | 5 | 2 |
| 25 | 11880 | Dudince* | 21.9.2023 | MSA MSK | 5 | 3 |
| 26 | 11881 | Želiezovce | 27.8.2024 | MSA DP | 4 | 2 |
| 27 | 11883 | Veľké Lovce | 27.3.2024 | MSA DP | 5 | 3 |
| 28 | 11884 | Mužla | 30.5.2024 | MSA DP | 5 | 3 |
| 29 | 11867 | Prievidza* | 20.9.2023 | MSA MSK | 4 | 2 |
| 30 | 11849 | Žikava | 30.5.2024 | MSA | 5 | 3 |
| 31 | 11856 | Mochovce | 28.8.2024 | MSA | 4 | 2 |
| 32 | 11918 | Liesek* | 18.9.2024 | MSA MSK | 4 | 2 |
| 33 | 11927 | Boľkovce* | 22.4.2024 | MSA MSK | 3 | 2 |
| 34 | 11933 | Štrbské Pleso* | 18.9.2024 | MSA MSK | 5 | 3 |
| 35 | 11934 | Poprad* | 19.9.2024 | MSA MSK | 5 | 2 |
| 36 | 11938 | Telgárt* | 17.9.2024 | MSA MSK | 5 | 3 |
| 37 | 11968 | Košice-letisko* | 22.4.2024 | MSA MSK | 2 | 2 |
| 38 | 11976 | Tisinec* | 24.4.2024 | MSA MSK | 4 | 2 |
| 39 | 11978 | Milhostov* | 23.4.2024 | MSA MSK | 2 | 2 |
| 40 | 11993 | Kamenica nad Cirochou* | 24.4.2024 | MSA MSK | 4 | 2 |




***Obrázok 1. Klasifikované meteorologické stanice SHMÚ na ich umiestnenie v rokoch 2023 a 2024. Každá stanica je označená poradovým číslom pre lepšiu identifikáciu (pozri Tab. 1).***

*Figure 1. Classified SHMÚ meteorological stations by their siting in 2023 and 2024. Each station is marked by a sequential number for better identification (see Tab. 1).*

### Tvorba podkladov pre klasifikáciu staníc pre teplotu a vlhkosť vzduchu

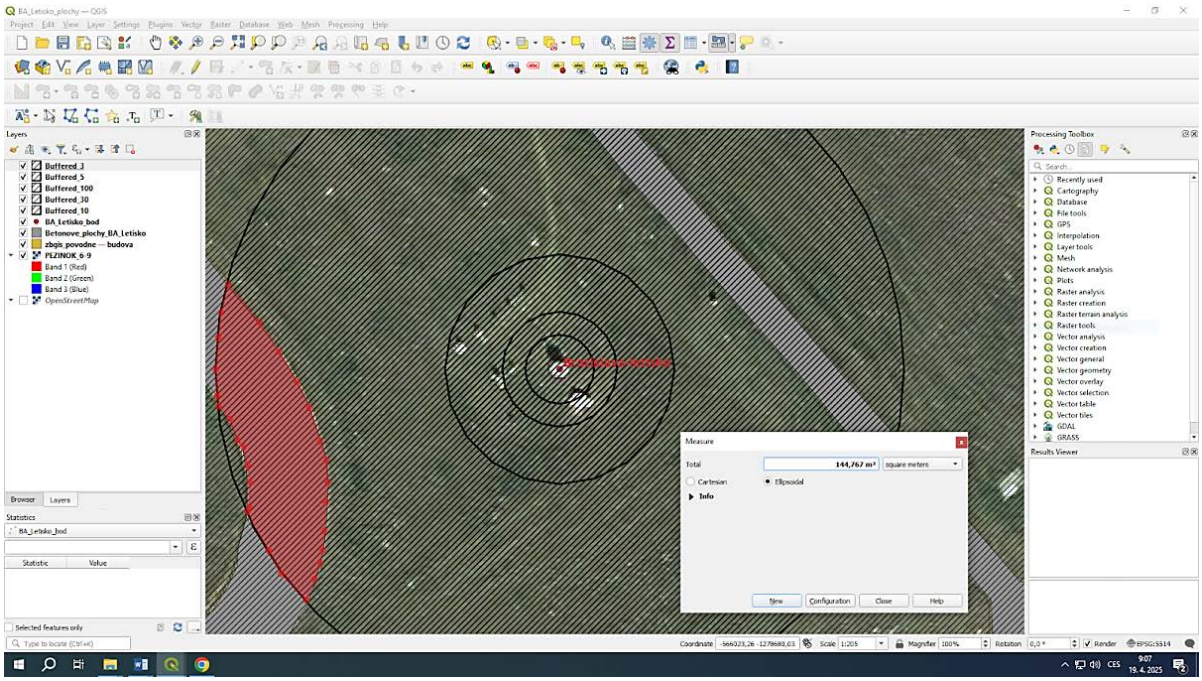
Podklady na zaradenie stanice sú vo svojej podstate oveľa dôležitejšie ako samotné triedy staníc. Z praxe sa ukázalo, že klasifikácia navrhnutá a opísaná v predchádzajúcej kapitole má svoje nedostatky. Veľmi podstatný je charakter, typ alebo druh prekážok, ktoré majú vplyv na kvalitu merania a generovanie systematických chýb. Na Obr. 3 je uvedený plán okolia stanice Bratislava-letisko. Plán obsahuje percentuálne vyčíslenia zastavanej plochy (zdrojov tepla) v kruhoch s definovanými polomermi, so stredom v mieste meteorologickej búdky (resp. v medzikružiach). Hodnoty ako 41,57 % (Obr. 3) alebo 27,16 % (Obr. 4) nebolo nutné vyčísliť na dve desatinné miesta. WMO norma nepožaduje zastavanú plochu presne vyčísliť, ale vzhľadom na veľký počet staníc predstavuje toto vyčíslenie podkladový materiál pre detailnejšie porovnanie prostredia staníc medzi sebou. Z oboch podkladov možno badať, že obe stanice sa zaradili pre zdroje tepla do rovnakej 3. triedy, avšak Bratislavské letisko len tesne nevyhovelo 2. triede, pretože zdroj tepla (alebo vodná plocha) musí zaberať menej alebo nanajvýš 10 % z povrchu kruhu do vzdialenosti 30 m od bodu merania (snímača) a vyčíslená hodnota bola 10,98 %, tvoriť nanajvýš 5 % z medzikružia 5 – 10 m od snímača (vyčíslená hodnota bola 0 %) alebo pokrývať nanajvýš 1 % plochy do vzdialenosti 5 m od snímača (vyčíslená hodnota bola rovnako 0 %). Pokiaľ sa pozrieme na stanicu Štrbské pleso (Obr. 4), výsledok je rovnaký a stanica sa umiestnila tiež v 3. triede. Markantný rozdiel je v zastavanej ploche do 30 m od snímača, kde stanica Štrbské Pleso obsahuje o viac než 16 % viac zastavanej plochy, dokonca v medzikruží 30 – 10 m od snímača o viac než 18 %. Tento jednoduchý príklad poukazuje na potrebu čo možno najpresnejšie vyčísliť rovnakou metodikou zastavanú plochu. Základom je ortofoto snímka importovaná ako raster do aplikácie QGIS a následné vyznačenie vzdialeností od búdky pomocou nástroja buffer. Nasleduje tvorba alebo importovanie polygónov, ktoré vyznačujú neprirodzené plochy a spočítanie plochy pomocou nástrojov na to určených (Obr. 2).

Druhá časť klasifikácie vyžaduje stanovenie miery tienenia na meteorologickú búdku alebo radiačný kryt. Táto časť klasifikácie vyžaduje zamerať prekážky na horizonte a vytvoriť radiačný horizont z miesta merania teploty a vlhkosti vzduchu. Na tento účel sme zvolili už vyššie spomínanú aplikáciu Theodolite HD, iPad a statív.

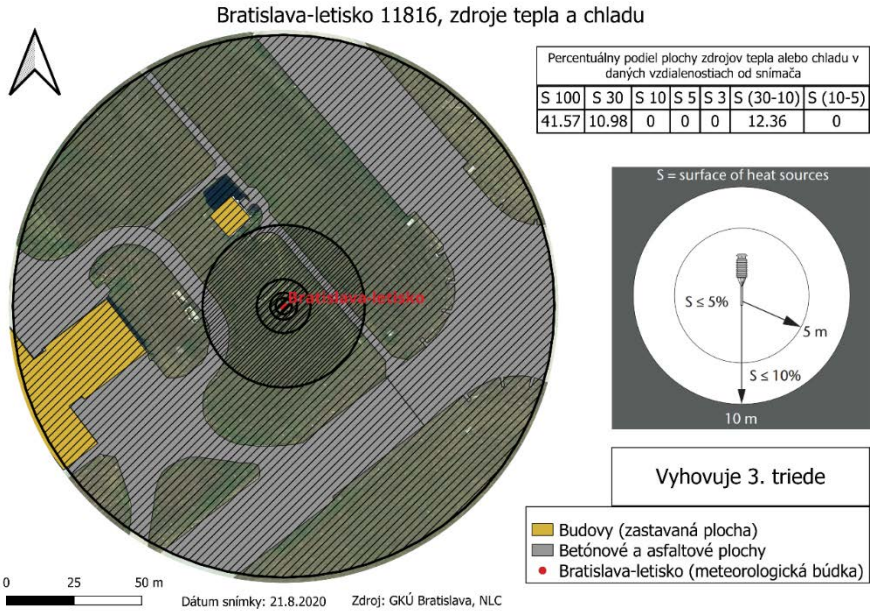
Poznamenajme, že v prípade profesionálnych staníc boli merania vykonané z miesta klasických prístrojov (meteorologickej búdky), hoci je súčasne prítomná aj automatická stanica. Je to preto, lebo pre klimatológiu je stále referenčné klasické meranie pomocou staničných teplomerov z meteorologickej búdky. Aplikácia umožňuje zaznamenávať body na horizonte, ktoré sa definujú uhlami náklonu iPadu v 2 smeroch. Samotné meranie zväčša netrvá dlhšie ako pár minút. Pred samotným meraním sa skalibruje elektronický kompas, rozloží sa statív. Popri meraní prebieha súčasne záznam obrazovky iPadu, tento proces je veľmi dôležitý, pretože z videa sa dodatočne pomenúvajú prekážky. Výsledný csv export meraní (Obr. 6) obsahuje všetky potrebné informácie pre ďalšie spracovanie v programe Microsoft Excel.

***Obrázok 2. Ukážka práce v aplikácii QGIS, analýza zdrojov tepla. Stred predstavuje meteorologickú búdku, kruh s najmenším polomerom predstavuje vzdialenosť 3 m od meteorologickej búdky. Plocha označená červeno je vyčíslovaná pomocou nástroja na meranie plochy. Šedé plochy predstavujú betónové alebo asfaltové povrchy.***

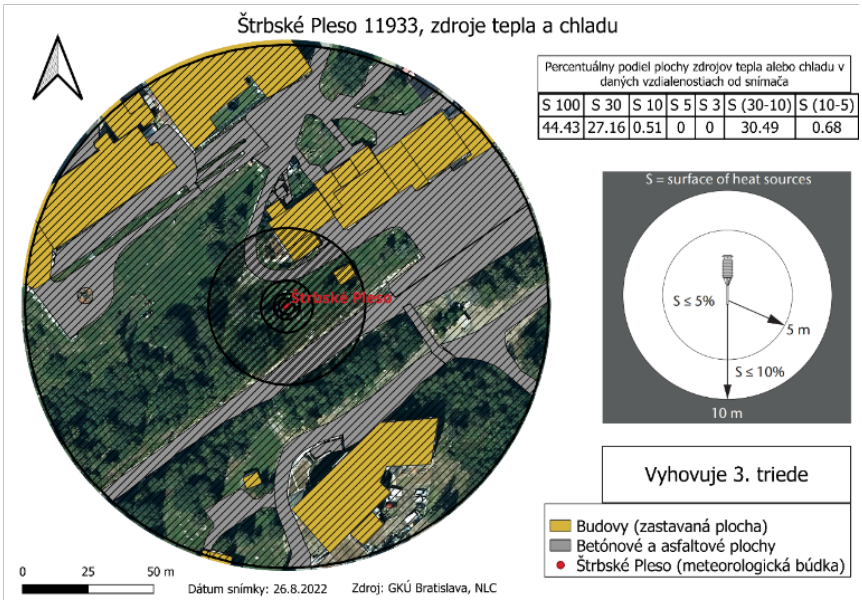
*Figure 2. Example of work in QGIS application, heat source analysis. The centre shows Stevenson screen the circle of the smallest diameter represents 3 m distance form Stevenson screen. The area marked by red colour is numbered by means of a tool for area measuring. Grey areas are concrete and asphalt surfaces.*



***Obrázok 3. Výsledný klasifikačný podklad pre teplotu vzduchu, stanica Bratislava-letisko.***
*Figure 3. Final classification basis for air temperature, station Bratislava-letisko (airport).*




***Obrázok 4. Výsledný klasifikačný podklad pre teplotu vzduchu, stanica Štrbské Pleso.***
*Figure 4. Final classification basis for air temperature, station Štrbské Pleso.*




***Obrázok 5. Ukážka rozloženia statívu s iPadom na staniciach Dolný Hričov (hore) a Mužla (dole).***

*Figure 5. Example of arrangement (layout) of tripod with iPad in stations Dolný Hričov (top) and Mužla (bottom).*



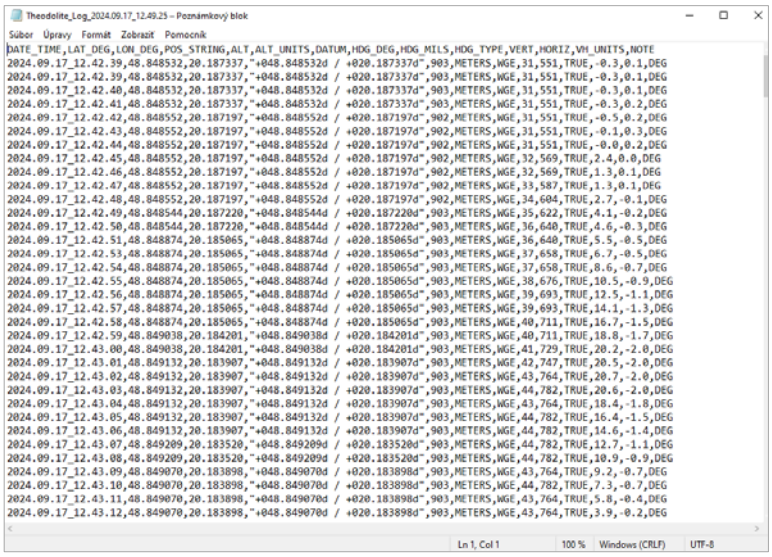
Najpodstatnejšie sú azimutálne a elevačné uhly prekážok voči bodu merania. Csv súbor podlieha následnému spracovaniu a popisu prekážok za pomoci videa (Obr. 7). Táto časť klasifikácie je nemenej dôležitá ako všetky ostatné, pretože pokiaľ tienenie spôsobuje listnatý strom, v zime je miera tohto zatienenia oveľa menšia ako v prípade ihličnatých neopadavých stromov alebo dokonca budov. Z videa sa dá dodatočne táto informácia získať a nemusí sa na ňu sústrediť zamestnanec vykonávajúci zameranie v teréne a ani si druh prekážok dodatočne označiť.

V procese spracovania je potrebné zobraziť dráhy Slnka. Pre základný prehľad bola pre každú stanicu stiahnutá zo stránky *https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php* najkratšia a najdlhšia dráha Slnka 21. 12. a 21. 6. a pre lepšiu orientáciu aj dráha Slnka pre deň, keď sa vykonávalo meranie v teréne. Ako si možno všimnúť, výsledné podklady obsahujú okrem klasifikačných kritérií (horizontálne čiary v grafe) dráh Slnka a samotných bodov meraní aj horizont terénu. Pri niektorých staniciach vznikala séria praktických problémov s viditeľnosťou najbližšieho

reliéfu krajiny, pri zameraní prekážok bola nižšia viditeľnosť a vzdialené pohoria už nebolo možné fyzicky vidieť a zaznamenať. Práve z tohto dôvodu bol v aplikácii QGIS pomocou nástroja r_horizon (*https://grass.osgeo.org/grass-stable/manuals/r.horizon.html*) získaný horizont prirodzeného reliéfu. V radiačných horizontoch je znázornený hnedou farbou (Reliéf DMR) prirodzený reliéf z digitálneho modelu reliéfu s rozlíšením 10 m. Vo výsledku vieme s akceptovateľnou presnosťou získať prehľad o radiačných pomeroch na uvažovanej stanici, pričom stanicu vieme zaradiť do jednotlivých kategórií. Najväčším zdrojom neistoty je pri tejto metóde presnosť elektronického kompasu (udávaná presnosť je podľa *https://hunter.pairsite.com/mobile/theodolite/help/index3.html#hw* 5 až 10° v nezarušenom prostredí). Pre veľkú väčšinu prípadov je presnosť dostatočná, niekedy sa však môže stať, že práve táto uvažovaná neistota môže rozhodnúť o triede stanice. V praxi sa overuje pri terénnom meraní hlavne to, či je elektronický kompas v zhode s ručným kompasom pri nastavovaní statívu a aplikácie. V aplikácii je možnosť prepínania medzi magnetickým kompasom ukazujúcim na magnetický sever a pravým kompasom ukazujúcim na pravý sever a vo verzii Theodolite HD 9.0.2 aj možnosť nastavenia kompasu v dvoch úrovniach citlivosti. Na Obr. 8, 9, 10 a 11 sú na ukážku uvedené radiačné horizonty zo staníc Moravský Svätý Ján, Kamenica nad Cirochou, Bratislavské letisko a Štrbské Pleso. Z priložených ukážok horizontov možno usúdiť, aký markantný rozdiel je práve v radiačných pomeroch na staniciach SHMÚ. Poznamenajme, že napríklad na stanici Kamenica nad Cirochou je relatívne veľká časť zatienenia spôsobená samotným reliéfom krajiny. Opačným prípadom je stanica Štrbské Pleso, kde práve vegetácia spôsobuje, že meteorologická búdka je vo veľkej časti dňa (najmä pri západe Slnka) v tieni. Poznamenajme, že krátkovlnná radiácia môže mať výrazný vplyv pri topení snehovej pokrývky, pokiaľ je merný pozemok dlhú dobu počas dňa zatienený, snehová pokrývka sa nemusí topiť rovnako rýchlo ako na mieste, ktoré môže byť vzdialené len niekoľko desiatok metrov od merného pozemku. Táto poznámka nesúvisí priamo s klasifikáciou, ale naznačuje ďalšie využitie radiačných horizontov.

***Obrázok 6. Exportovaný csv súbor z aplikácie Theodolite HD.***

*Figure 6. Exported csv file from application Theodolite HD.*



```
Theodolite_Log_2024.09.17_12.49.25 – Poznámkový blok
Súbor  Úpravy  Formát  Zobraziť  Pomocník
DATE_TIME,LAT_DEG,LON_DEG,POS_STRING,ALT,ALT_UNITS,DATUM,HDG_DEG,HDG_MILS,HDG_TYPE,VERT,HORIZ,VH_UNITS,NOTE
2024.09.17_12.42.39,48.848532,20.187337,"+048.848532d / +020.187337d",903,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.3,0.1,DEG
2024.09.17_12.42.39,48.848532,20.187337,"+048.848532d / +020.187337d",903,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.3,0.1,DEG
2024.09.17_12.42.40,48.848532,20.187337,"+048.848532d / +020.187337d",903,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.3,0.1,DEG
2024.09.17_12.42.41,48.848532,20.187337,"+048.848532d / +020.187337d",903,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.3,0.2,DEG
2024.09.17_12.42.42,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.5,0.2,DEG
2024.09.17_12.42.43,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.1,0.3,DEG
2024.09.17_12.42.44,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,31,551,TRUE,-0.0,0.2,DEG
2024.09.17_12.42.45,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,32,569,TRUE,2.4,0.0,DEG
2024.09.17_12.42.46,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,32,569,TRUE,1.3,0.1,DEG
2024.09.17_12.42.47,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,33,587,TRUE,1.3,0.1,DEG
2024.09.17_12.42.48,48.848552,20.187197,"+048.848552d / +020.187197d",902,METERS,WGE,34,604,TRUE,2.7,-0.1,DEG
2024.09.17_12.42.49,48.848544,20.187220,"+048.848544d / +020.187220d",903,METERS,WGE,35,622,TRUE,4.1,-0.2,DEG
2024.09.17_12.42.50,48.848544,20.187220,"+048.848544d / +020.187220d",903,METERS,WGE,36,640,TRUE,4.6,-0.3,DEG
2024.09.17_12.42.51,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,36,640,TRUE,5.5,-0.5,DEG
2024.09.17_12.42.53,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,37,658,TRUE,6.7,-0.5,DEG
2024.09.17_12.42.54,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,37,658,TRUE,8.6,-0.7,DEG
2024.09.17_12.42.55,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,38,676,TRUE,10.5,-0.9,DEG
2024.09.17_12.42.56,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,39,693,TRUE,12.5,-1.1,DEG
2024.09.17_12.42.57,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,39,693,TRUE,14.1,-1.3,DEG
2024.09.17_12.42.58,48.848874,20.185065,"+048.848874d / +020.185065d",903,METERS,WGE,40,711,TRUE,16.7,-1.5,DEG
2024.09.17_12.42.59,48.849038,20.184201,"+048.849038d / +020.184201d",903,METERS,WGE,40,711,TRUE,18.8,-1.7,DEG
2024.09.17_12.43.00,48.849038,20.184201,"+048.849038d / +020.184201d",903,METERS,WGE,41,729,TRUE,20.2,-2.0,DEG
2024.09.17_12.43.01,48.849132,20.183907,"+048.849132d / +020.183907d",903,METERS,WGE,42,747,TRUE,20.5,-2.0,DEG
2024.09.17_12.43.02,48.849132,20.183907,"+048.849132d / +020.183907d",903,METERS,WGE,43,764,TRUE,20.7,-2.0,DEG
2024.09.17_12.43.03,48.849132,20.183907,"+048.849132d / +020.183907d",903,METERS,WGE,44,782,TRUE,20.6,-2.0,DEG
2024.09.17_12.43.04,48.849132,20.183907,"+048.849132d / +020.183907d",903,METERS,WGE,43,764,TRUE,18.4,-1.8,DEG
2024.09.17_12.43.05,48.849132,20.183907,"+048.849132d / +020.183907d",903,METERS,WGE,44,782,TRUE,16.4,-1.5,DEG
2024.09.17_12.43.06,48.849132,20.183907,"+048.849132d / +020.183907d",903,METERS,WGE,44,782,TRUE,14.6,-1.4,DEG
2024.09.17_12.43.07,48.849209,20.183520,"+048.849209d / +020.183520d",903,METERS,WGE,44,782,TRUE,12.7,-1.1,DEG
2024.09.17_12.43.08,48.849209,20.183520,"+048.849209d / +020.183520d",903,METERS,WGE,44,782,TRUE,10.9,-0.9,DEG
2024.09.17_12.43.09,48.849070,20.183898,"+048.849070d / +020.183898d",903,METERS,WGE,43,764,TRUE,9.2,-0.7,DEG
2024.09.17_12.43.10,48.849070,20.183898,"+048.849070d / +020.183898d",903,METERS,WGE,44,782,TRUE,7.3,-0.7,DEG
2024.09.17_12.43.11,48.849070,20.183898,"+048.849070d / +020.183898d",903,METERS,WGE,43,764,TRUE,5.8,-0.4,DEG
2024.09.17_12.43.12,48.849070,20.183898,"+048.849070d / +020.183898d",903,METERS,WGE,43,764,TRUE,3.9,-0.2,DEG
Ln 1, Col 1   100 %   Windows (CRLF)   UTF-8
```

***Obrázok 7. Záznam obrazovky poskytuje dodatočné informácie o type a charaktere prekážok.***

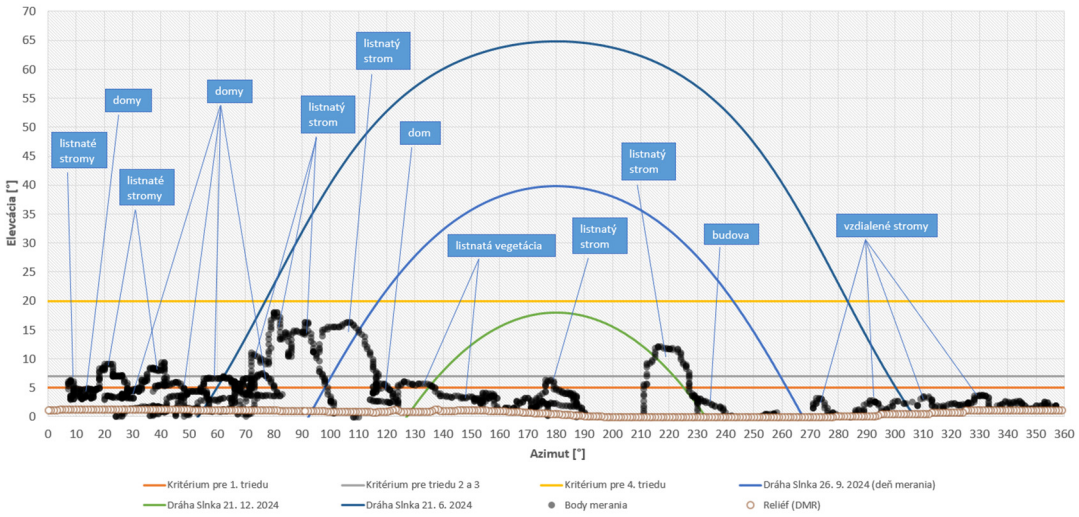
*Figure 7. Screen record provides additional information on type and character of obstacles.*




Na Obr. 13 je zachytená fotografia polohy Slnka 19. 3. 2025 tesne po rannom pozorovacom termíne tesne vedľa meteorologickej búdky na stanici Bratislava-Koliba. Z panoramatickej fotografie vidno oslnenú meteorologickú búdku. Táto fotografia bola konfrontovaná so zjednodušeným radiačným horizontom vytvoreným 23. 5. 2023 (Obr. 12). Dráha Slnka, ako aj poloha Slnka (19. 3. 2025 o 6:55 SEČ), bola získaná z už spomínaného zdroja *https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php*. Ako si môže čitateľ všimnúť, presnosť zamerania horizontu je pre potreby WMO klasifikácie dostatočná, pričom problematické môžu byť len hraničné prípady. V tomto prípade ide len o minimálny posun, pričom stanica kvôli listnatým a ihličnatým stromom na západe aj východe spadá suverénne do 4. triedy (Obr. 12).

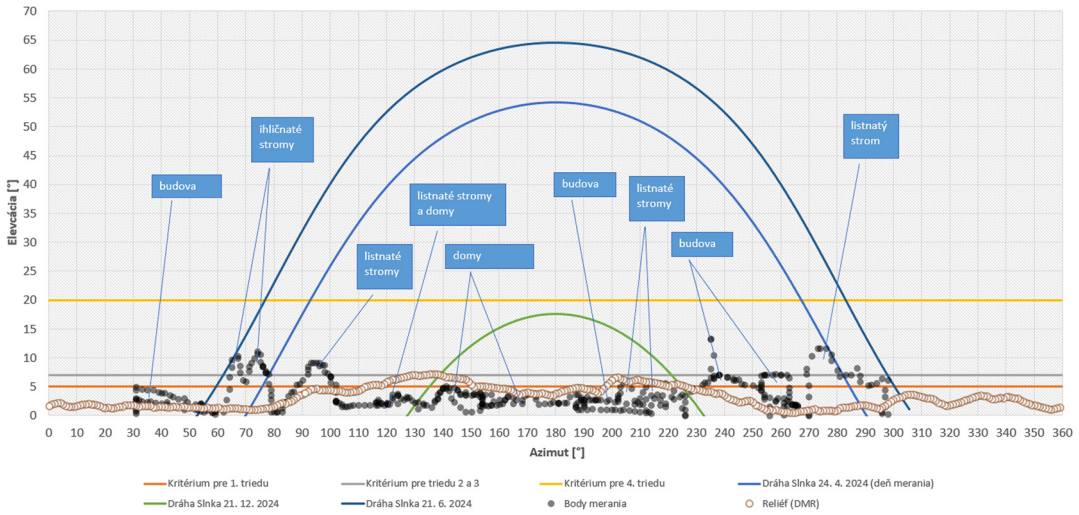
***Obrázok 8. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Moravský Svätý Ján.***

*Figure 8. Simplified radiation horizon in station Moravský Svätý Ján.*



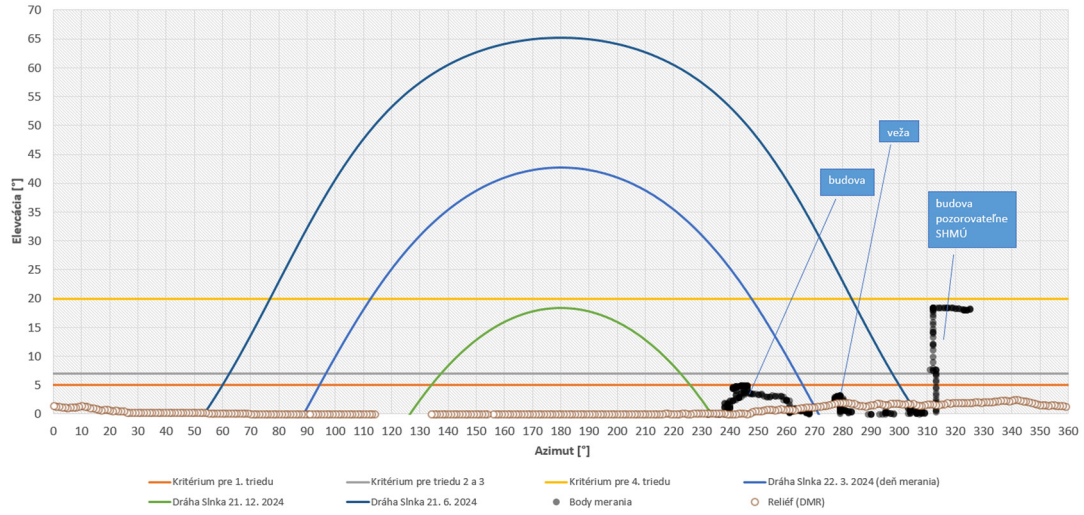

***Obrázok 9. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Kamenica nad Cirochou.***

*Figure 9. Simplified radiation horizon in station Kamenica nad Cirochou.*



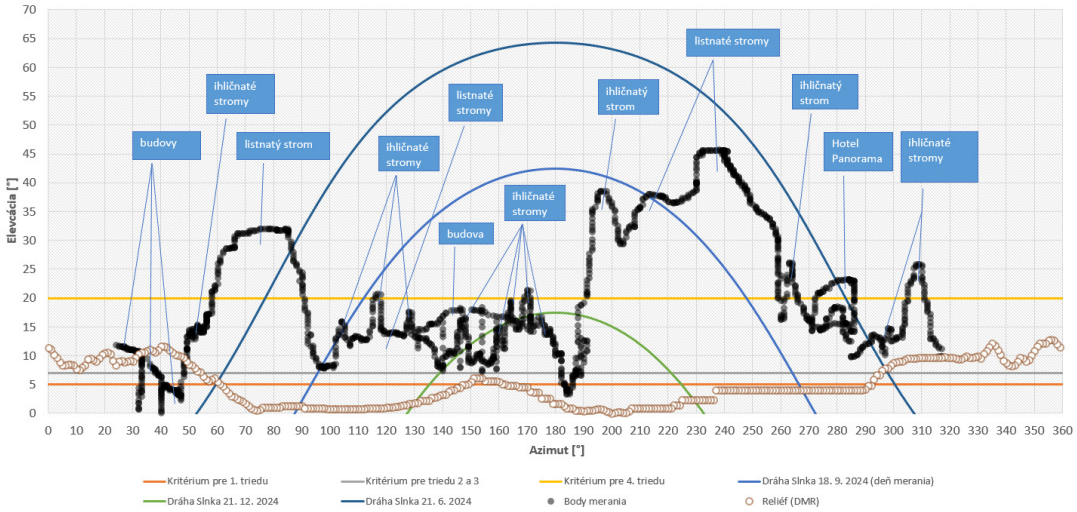

***Obrázok 10. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Bratislava-letisko.***

*Figure 10. Simplified radiation horizon in station Bratislava-letisko.*



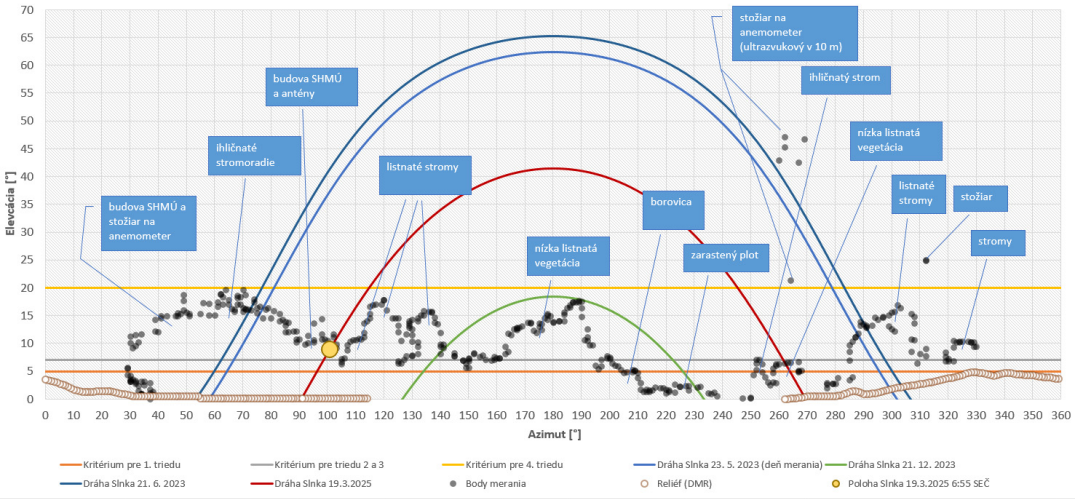
***Obrázok 11. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Štrbské Pleso.***

*Figure 11. Simplified radiation horizon in station Štrbské Pleso.*




***Obrázok 12. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Bratislava-Koliba.***

*Figure 12. Simplified radiation horizon in station Bratislava-Koliba*




***Obrázok 13. Panoramatická fotografia zo stanice Bratislava-Koliba vytvorená 19.3.2025 tesne po rannom pozorovacom termíne.***

*Figure 13. Panoramic photo from station Bratislava-Koliba made on 19.3.2025 just after morning hour of observation.*



## Tvorba podkladov pre zaradenie staníc – zrážky

Rovnako ako v predchádzajúcom, aj v tomto prípade boli vytvorené horizonty. Pri klasifikácii zrážok je nutné zistiť efektívnu uhlovú šírku prekážok. Pomocou aplikácie Theodolite HD boli zmerané azimutálne a elevačné uhly prekážok v okolí zrážkomera identicky ako v prípade teploty a vlhkosti vzduchu. V tomto prípade ale z miesta zrážkomera a z jeho referenčnej výšky 1 m (Obr. 14). Z výsledného horizontu sa dá bez problémov zistiť, či objekt v okolí zrážkomera prekážkou je alebo nie je, poprípade, či je v budúcnosti potrebné zvážiť jeho odstránenie alebo orezanie (platí v prípade rýchlo rastúcich stromov, tují, krov...). Rovnako ako pri klasifikácii teploty poznamenajme, že v prípade profesionálnych staníc boli merania vykonané z miesta klasických zrážkomerov, hoci je súčasne prítomný aj automatický zrážkomer.

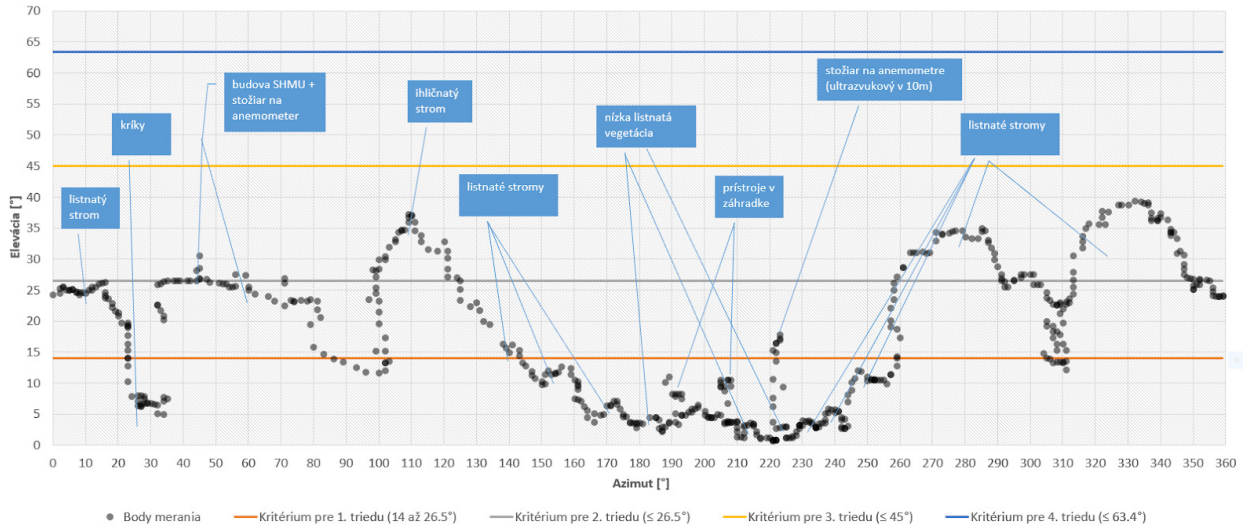
***Obrázok 14. Ukážka rozloženia statívu s tabletom pri automatickom a klasickom zrážkomere.***

*Figure 14. Example of layout of tripod with tablet for automatic and classical rain gauge.*



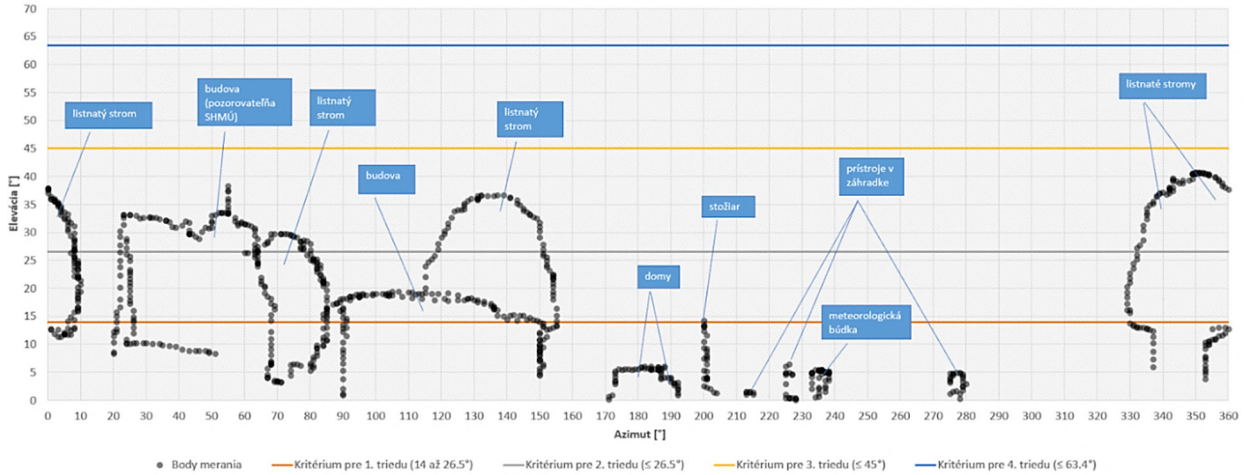
***Obrázok 15. Prekážky v okolí zrážkomeru na stanici Bratislava-Koliba.***

*Figure 15. Obstacles in the surrounding of rain gauge in station Bratislava-Koliba.*




***Obrázok 16. Prekážky v okolí zrážkomeru na stanici Telgárt.***

*Figure 16. Obstacles in the surrounding of rain gauge in station Telgárt.*



### Výsledky hodnotenia klasifikácie umiestnenia 40 meteorologických staníc SHMÚ

V rokoch 2023 a 2024 bola vyhodnotená klasifikácia vyše 50 klimatologických staníc, v tomto článku je spracovaných 40 staníc, z toho 17 profesionálnych staníc. V histograme na Obr. 17 si môžeme všimnúť, že zo 40 hodnotených staníc je 15 staníc v najhoršej 5. triede kvôli tieneniu. V 1. triede sa neumiestnila žiadna stanica a najviac staníc sa umiestnilo v 4. triede. V 2. triede sa umiestnili 3 stanice a v 3. triede 4 stanice.

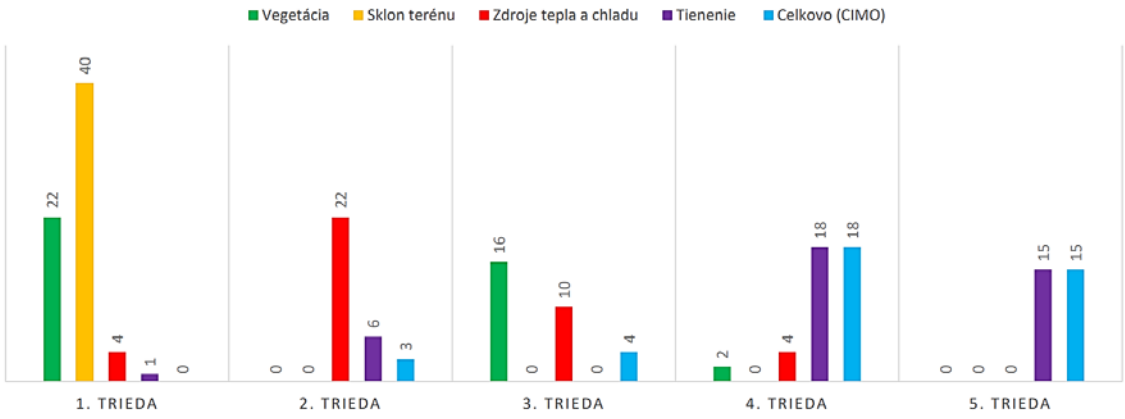
V prípade klasifikácie zrážok (Obr. 18) sa v 5. triede umiestnila len 1 stanica. V 4. triede sa umiestnili 2 stanice a najviac, 25 staníc, sa umiestnilo v 2. triede.

## DISKUSIA A ZÁVER

Na základe klasifikačných produktov získa meteorológ, klimatológ alebo hydrológ rýchly prehľad o reprezentatívnosti meraní teploty vzduchu a zrážok pre dané stanice. Klasifikačné podklady môžu slúžiť aj ako dôvody na zlepšenie kvality siete v budúcnosti. Identifikácia prekážok, ktoré môžu byť zdrojom systematických neistôt a ich odstraňovanie, je jednou z priorít skvalitnenia klimatologického monitoringu. Dobrým príkladom môže byť klasifikácia a následná reklasifikácia stanice Hurbanovo, kde došlo k orezu a výrubu stromov (Obr. 19 a 20). Takýto zásah musí byť vždy zaznamenaný a klasifikácia musí byť vykonaná znova. Ďalším dobrým príkladom je premiestnenie zrážkomera v rámci pozemku na stanici Gabčíkovo, či snaha o presťahovanie stanice Slovenský Grob práve kvôli nevhodným podmienkam pre meranie zrážok aj teploty a vlhkosti vzduchu. Pre operatívnu prax autor naprogramoval v Pythone interaktívnu mapovú aplikáciu pre zobrazovanie klasifikačných podkladov a produktov. Aplikácia *https://karol187.github.io/Mapa.html* je k dispozícii vybraným odborníkom, meteorológom a klimatológom a predstavuje prvý krok v praktických aplikáciách v tejto problematike. Vizuálny vzhľad aplikácie je vidno na Obr. 21.

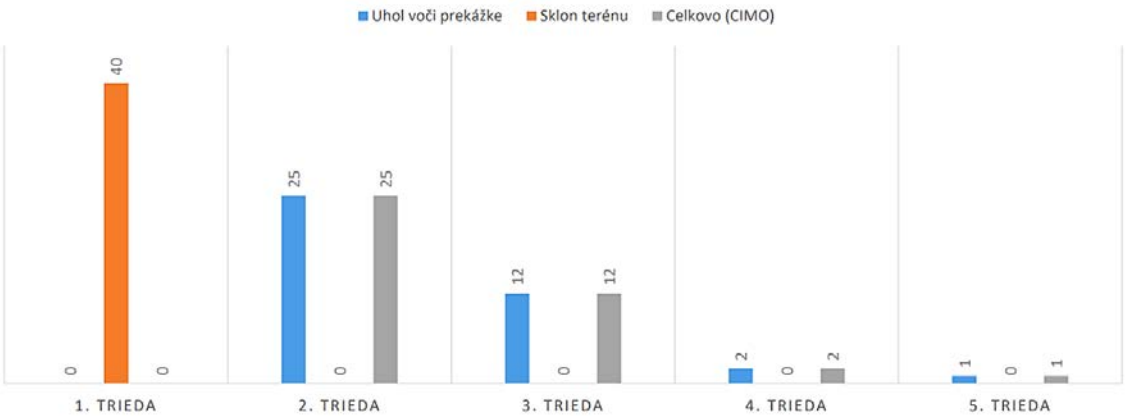
***Obrázok 17. Výsledky hodnotenia klasifikácie umiestnenia 40 meteorologických staníc SHMÚ pre meranie teploty a vlhkosti vzduchu, počty staníc podľa tried.***

*Figure 17. The results of classification evaluation of siting of 40 meteorological SHMÚ stations for measuring of air temperature, air humidity, numbers of stations by grades.*



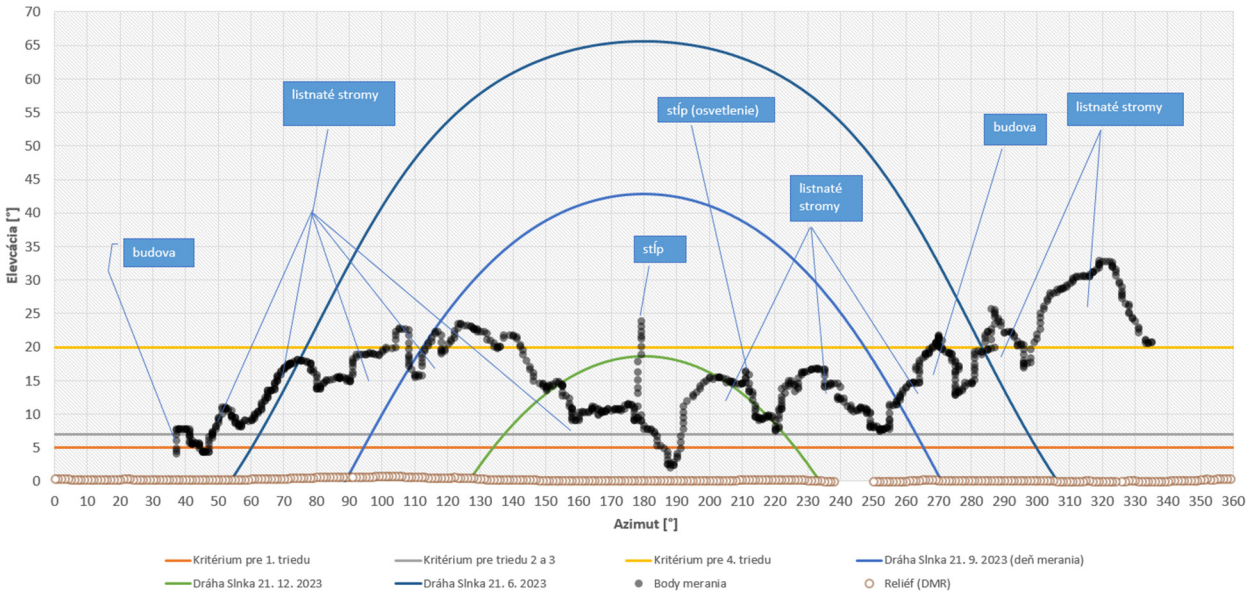

***Obrázok 18. Výsledky hodnotenia klasifikácie umiestnenia 40 meteorologických staníc SHMÚ pre meranie zrážok, počty staníc podľa tried.***

*Figure 18. The results of classification evaluation of siting of 40 meteorological SHMÚ stations for measuring precipitation, numbers of stations by grades.*



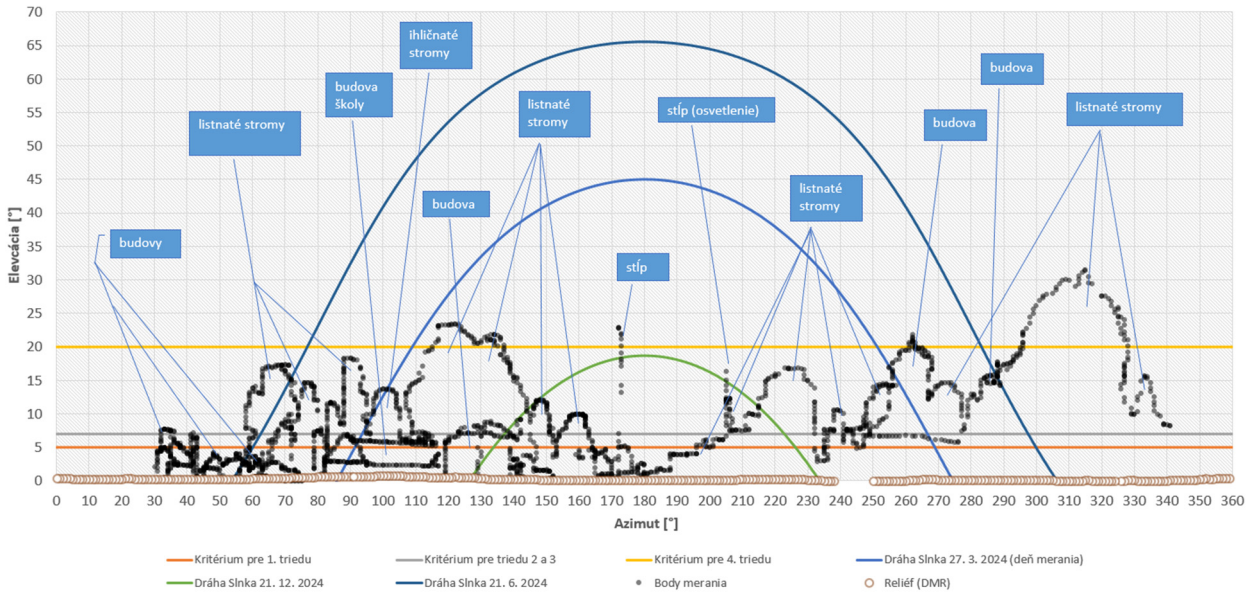
***Obrázok 19. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Hurbanovo pred orezom stromov.***

*Figure 19. Simplified radiation horizon in Hurbanovo station before cutting trees.*




***Obrázok 20. Zjednodušený radiačný horizont na stanici Hurbanovo po orezе stromov.***

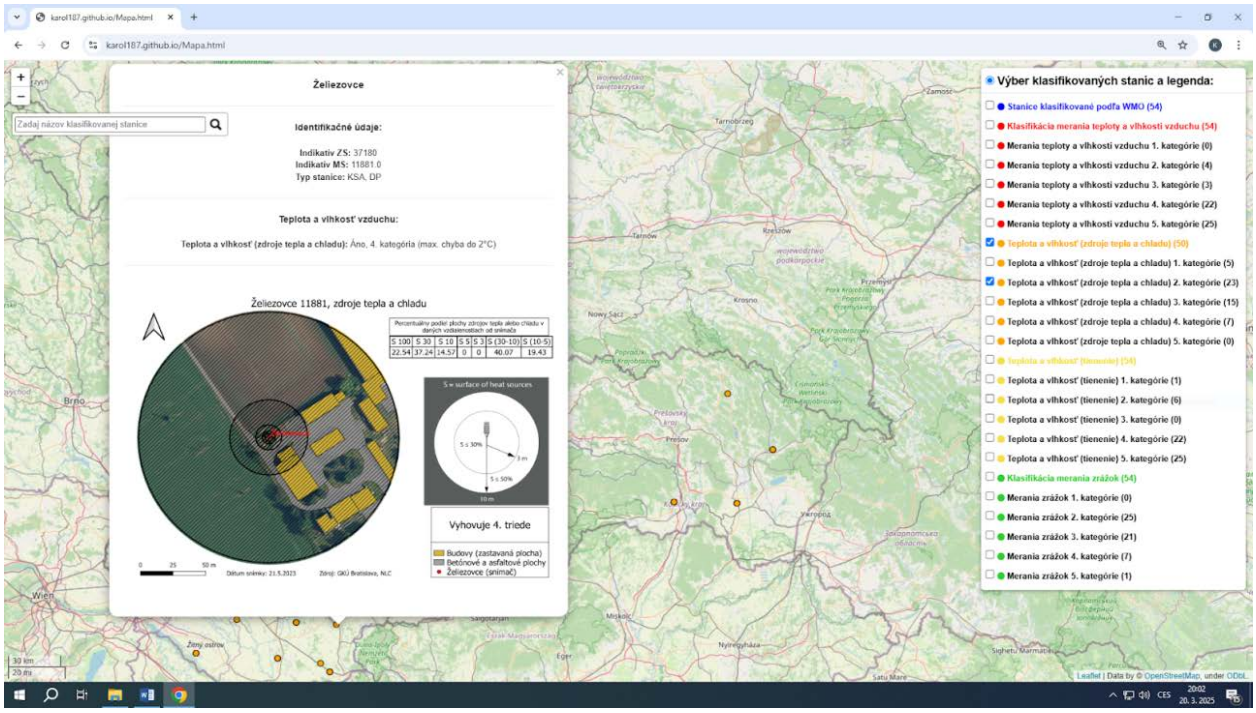
*Figure 20. Simplified radiation horizon in Hurbanovo station after cutting trees.*




Realizácia klasifikácie podľa metodiky WMO postupne poukázala na stav umiestnenia staníc, ale súčasne sa pri jej realizácií preukázalo, že samotné zaradenie staníc do jednej z tried je podľa autora tohto článku nedostatočné a bez uvedených podkladov nemajú podstatný zmysel, navyše môžu pôsobiť zmätočne a zavádzajúco. Práve toto otvára priestor konšpirátorom, klimaskeptikom, ktorí môžu argumentovať neistotou až 5 °C pri meraní teploty, pričom sa odvolávajú na WMO. Veľký počet staníc bol zaradený do 5. triedy kvôli tieneniu, pričom sa nebrali do úvahy veľmi úzke tieniace objekty, napríklad stĺpy verejného osvetlenia. Kritériá pre zdroje tepla sú výrazne benevolentnejšie ako kritériá pre tienenie, čo reprezentuje fakt, že kvôli zdrojom tepla (neprirodzeným plochám) nie je ani jedna stanica v 5. triede, ale kvôli tieneniu je v 5. triede až 15 staníc z celkového počtu 40. Klasifikácia je prísna a vo váhe niektorých kritérií nevyvážená. Klasifikácia je globálna (celosvetová) a pre geografickú oblasť Slovenska (strednej Európy) bude potrebná úprava kritérií a stanovenie neistôt podrobnejšie tak, aby bola použiteľnejšia s vyššou výpovednou hodnotou. Preto je potrebné vplyvy okolitého prostredia na meranie meteorologických prvkov naďalej skúmať za účelom objektivizácie klasifikácie.

***Obrázok 21. Aplikácia na prezeranie klasifikačných podkladov a produktov dostupná meteorológom a klimatológom v SHMÚ.***

*Figure 21. The application for scanning of classification backgrounds and products available to weather forecasters and climatologists in SHMÚ.*




## LITERATÚRA


[1] *ANNEX 1.B. SITING CLASSIFICATIONS FOR SURFACE OBSERVING STATIONS ON LAND (The text of the common ISO/WMO standard 19289:2014(E)).*

[2] *Wolff, M.–Torfoss, T.–Grinde, L.–Hofstra, M.–Solvang, R.–Kielland, G.–Larsgård, N.–Nygård, H.D., 2014, Site Classification of the observation network of the Norwegian Meteorological Institute: Progress and Challenges.*

[3] *Slabá, N., 1976, Návod pre pozorovateľov meteorologických staníc ČSSR. Zborník predpisov III.*

[4] *Slabá, N., 1972, Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR, 2. přepracované vydání. Sborník předpisů, sv 7.*

[5] *Hydrometeorologický ústav, Sborník predpisů svazek č.1, Praha 1970, ZŘIZOVÁNÍ A INSPEKCE METEOROLOGICKÝCH STANÍC.*

# MOŽNOSTI VYUŽITIA PROGRAMOVACIEHO JAZYKA PYTHON V OPERATÍVNEJ PREVÁDZKE OMPaV SHMÚ

**CYRIL SIMAN**

*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Odbor Meteorologické predpovede a výstrahy, cyril.siman@shmu.sk*

***In modern meteorological practice, the Python programming language plays a crucial role in processing, analyzing, and visualizing meteorological data. This article presents its practical use in the operational service of the Forecasts and Warnings Department (FaWD) of the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ), where Python significantly contributes to more efficient data processing from automatic meteorological stations and Mountain Rescue Service stations. We describe the implementation of core libraries such as Pandas, NumPy, Matplotlib, MetPy, and Cartopy, which are essential for data manipulation, performing calculations, creating graphs, and generating map-based outputs. An important part of the workflow is also the automation of tasks through the crontab scheduler, which ensures regular execution of scripts without the need of manual intervention. The result of implementing these solutions is faster and more reliable analysis of current weather conditions, simplified forecast production, and improved quality of provided forecasts. Python has thus become an indispensable tool in the daily operation of meteorologists.***

***V súčasnej meteorologickej praxi zohráva programovací jazyk Python dôležitú úlohu pri spracovaní, analýze a vizualizácii meteorologických údajov. Tento článok predstavuje jeho využitie v operatívnej prevádzke Odboru meteorologických predpovedí a výstrah (OMPaV) SHMÚ, kde umožňuje efektívnejšie spracovanie údajov z automatických meteorologických staníc a staníc Horskej záchrannej služby. V príspevku sa opisuje implementácia kľúčových knižníc ako Pandas, NumPy, Matplotlib, MetPy či Cartopy, a automatizácia procesov cez unixový plánovač úloh (cron), pomocou crontabu. Výsledkom je rýchlejšia analýza aktuálneho počasia, zjednodušenie tvorby predpovedí a zvýšenie kvality poskytovaných prognóz.***

***Key words: Python, meteorological data, automation, visualization, forecasting***

## ÚVOD

Moderná meteorologická prevádzka využíva v súčasnosti pokročilé metódy spracovania a analýzy meteorologických dát. Python, ako flexibilný a voľne dostupný programovací jazyk, si získal v tejto oblasti veľkú popularitu. Ponúka bohatú paletu knižníc a nástrojov, ktoré umožňujú efektívne spracovanie časových radov, vizualizáciu dát, modelovanie a predikciu počasia.

Medzi najdôležitejšie knižnice, ktoré sa používajú v meteorologickej praxi, patria:

- ***Pandas*** a ***NumPy*** na spracovanie a analýzu dát (McKinney, 2012). Pandas poskytuje vysoko optimalizované ***DataFrame*** objekty na prácu s časovými radmi meteorologických meraní, zatiaľ čo NumPy uľahčuje výpočty s veľkými maticami a poliami.
- ***Matplotlib*** a ***Seaborn*** na vizualizáciu (Hunter, 2007). Tieto knižnice umožňujú tvorbu grafov, ako sú teplotné mapy, boxploty (krabicové grafy), histogramy a kontúrne grafy (angl. contour plots), ktoré sa používajú na zobrazenie trojrozmerných údajov v dvojrozmernom priestore.
- ***SciPy*** na numerické modelovanie (Virtanen et al., 2020). Obsahuje pokročilé algoritmy pre interpoláciu, optimalizáciu a integráciu diferenciálnych rovníc, čo je užitočné pre klimatologické modely.
- ***MetPy*** poskytuje špecializované nástroje pre meteorologické analýzy (May et al., 2022). Obsahuje funkcie na výpočet potenciálnej teploty, Rosbyho čísla, analýzu stability atmosféry a kreslenie Skew-T diagramov.
- ***Xarray*** na prácu s veľkými viacrozmernými datasetmi. Umožňuje efektívne spracovanie a analýzu meteorologických a klimatologických modelov.
- ***Cartopy*** na vizualizáciu geografických dát a prácu so satelitnými snímkami a radarovými mapami.

Použitie Pythonu v meteorológii sa uplatňuje v rôznych oblastiach, od operatívnej predpovede počasia a analýzy klimatických trendov až po spracovanie satelitných a radarových dát (Lin, 2012). Tieto aplikácie prispievajú k lepšiemu pochopeniu meteorologických javov a zlepšeniu presnosti predpovedí. Python sa využíva aj pri automatizácii meteorologických modelov, kde pomocou Jupyter Notebookov a API rozhraní dochádza k rýchlej vizualizácii a spracovaniu veľkých datasetov. Python taktiež podporuje strojové učenie a umelú inteligenciu, čo umožňuje predikcie počasia založené na neurónových sieťach pomocou knižníc ako TensorFlow, Keras a Scikit-learn.

Cieľom článku je prezentácia využitia programovacieho jazyka Python v operatívnej prevádzke Odboru meteorologických predpovedí a výstrah (OMPaV) SHMÚ. Práca sa zameriava na prehľad kľúčových nástrojov a knižníc, ktoré

https://doi.org/10.62699/mj28.2x.44
Available online: November 30, 2025

sa v rámci odboru využívajú na analýzu meteorologických údajov a ich vizualizáciu, na automatizáciu procesov súvisiacich s predpoveďou počasia a vydávaním výstrah. Predstavené budú konkrétne produkty a riešenia implementované v Python-e, ktoré prispievajú k efektívnejšej a rýchlejšej práci meteorológov a zvyšujú kvalitu poskytovaných prognóz.

## ÚDAJE A VÝCHODISKÁ

Pred zavedením Pythonu do operatívnej prevádzky OMPaV SHMÚ bol jedným z nástrojov na zobrazovanie podkladov o aktuálnom počasí aj softvér Visual Weather od firmy IBL. Tento softvér umožňuje meteorológom efektívne pracovať s numerickými predpoveďami a modelovými dátami, avšak jeho využitie na zobrazovanie aktuálnych údajov zo siete automatických meteorologických staníc je obmedzené. A to nie z dôvodu nedostatočnosti tohto softvéru, ale skôr kvôli nedostatku personálnych kapacít, ktoré by na tejto úlohe mohli pracovať. Ďalším dôležitým nástrojom bol softvér Autoview, ktorý zobrazuje údaje z automatických staníc v tabuľkovej forme. Tento prístup však nie je dostatočne efektívny pri veľkom počte staníc, pretože meteorológ musí manuálne analyzovať hodnoty v tabuľkách, čo predlžuje čas potrebný na získanie komplexného obrazu o aktuálnej situácii.

Vzhľadom na tieto obmedzenia vznikla potreba vývoja nových produktov, ktoré by umožňovali efektívnejšie spracovanie a vizualizáciu údajov. V predkladanom článku boli využité údaje zo staničnej siete SHMÚ, predovšetkým minútové údaje z automatických, ale aj synoptických staníc. Od roku 2024 sú na OMPaV využívané aj údaje z Horskej záchrannej služby, ktoré boli taktiež implementované v niektorých mapových produktoch. V čase písania tohto príspevku (február až apríl 2025) sme tak mali k dispozícii údaje z približne 360 staníc.

## METODIKA PRÁCE

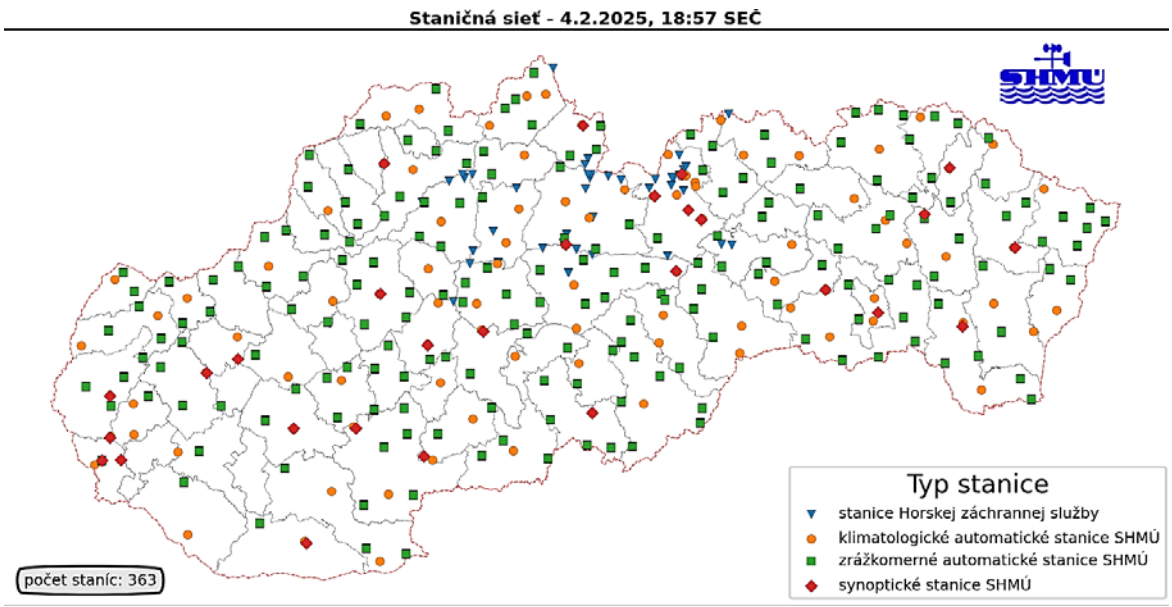
Na implementáciu riešenia bolo potrebné najskôr naštudovať jednotlivé knižnice Pythonu, ktoré umožňujú efektívnu prácu s meteorologickými údajmi. Ďalej bolo nevyhnutné oboznámiť sa s prácou v MySQL databáze, kde sa údaje ukladajú. Súčasťou procesu bolo vytvorenie vhodného SQL dopytu na extrakciu požadovaných údajov. Po získaní údajov bolo potrebné osvojiť si metódy ich základného spracovania, ako sú čistenie, transformácia a agregácia dát. Následne sa pracovalo na ich vizualizácii, buď v podobe máp zobrazujúcich geografickú distribúciu parametrov ako teplota, vietor a zrážky, alebo vo forme grafov a diagramov poskytujúcich ďalší kontext. Aby bol celý proces plne automatizovaný, využili sme unixový plánovač úloh, pomocou crontabu. Tento nástroj umožňuje naplánovať, kedy sa jednotlivé príkazy a skripty majú v systéme spustiť, čím sa zabezpečila pravidelná aktualizácia produktov bez potreby manuálneho zásahu. Pracovný postup pri vytváraní produktov pre operatívnu prevádzku OMPaV s využitím programovacieho jazyka Python názorne ilustruje schéma na Obr. 2. Z nej vyplýva, že okrem údajov z automatických staníc využívame aj iné databázy, a to najmä klimatologické údaje vo forme napríklad klimatologických normálov, ale aj údaje z bodovej verifikácie predpovedí. V tomto článku sa budeme zaoberať najmä využitím Python-u pri spracovaní údajov z automatických staníc zo siete SHMÚ a Horskej záchrannej služby.

### Štruktúra kódu na príklade mapy aktuálnej teploty vzduchu

V Tab. 1 je zhrnutý prehľad hlavných krokov skriptu, ktorý generuje mapu aktuálnej teploty vzduchu na Slovensku.

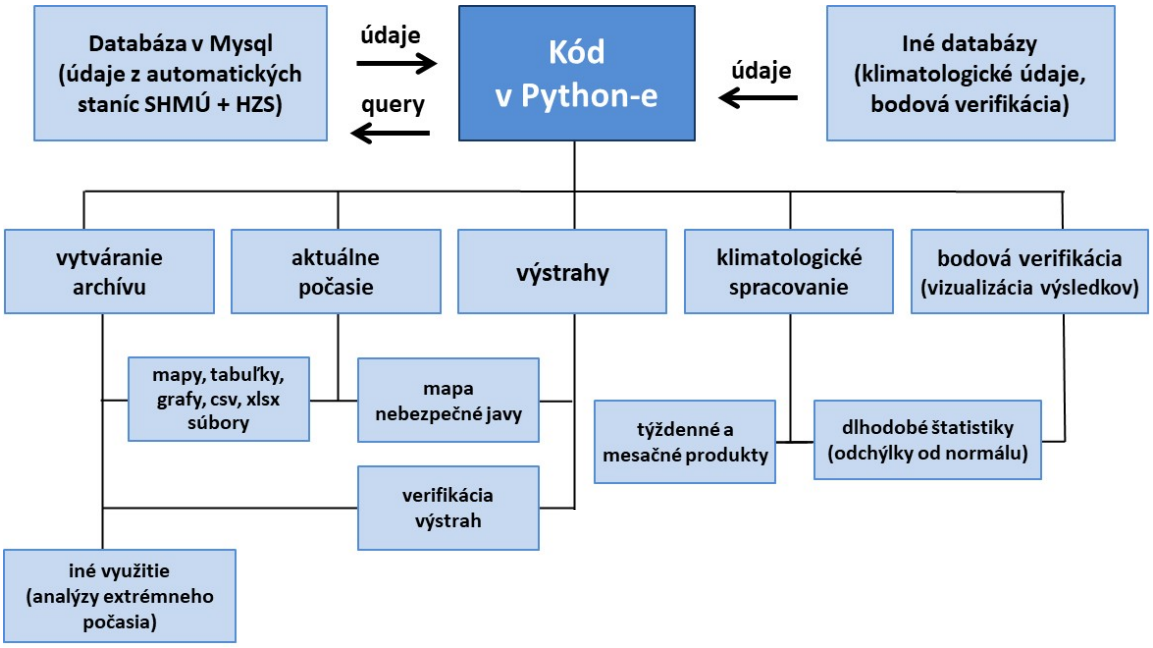
***Obrázok 1. Sieť staníc využívaných na OMPaV SHMÚ.***

*Figure 1. The Stations used in Forecasts and Warnings Department (FaWD) of the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ).*



***Obrázok 2. Zjednodušené zobrazenie pracovného postupu pri vytváraní produktov s využitím Python-u v operatívnej prevádzke OMPaV.***

*Figure 2. Simplified layout of the workflow for creating products using Python in the operational activities of the Forecasts and Warnings Department.*



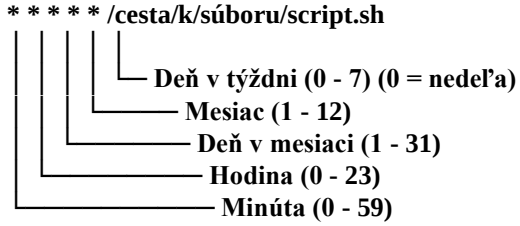

***Tabuľka 1. Prehľad hlavných krokov skriptu.***

*Table 1. Scheme of main parts of the code.*

| Krok | Popis činnosti | Použité knižnice / nástroje | Výstup |
|---|---|---|---|
| **1. Import knižníc** | Načítanie knižníc na prácu s geopriestorovými údajmi, databázami a vizualizáciou | geopandas, rasterio, cartopy, mysql.connector, matplotlib, seaborn | — |
| **2. Pripojenie k databáze** | Načítanie aktuálnych údajov o teplote z dvoch tabuliek MySQL databázy | mysql.connector | DataFrame s údajmi o teplote |
| **3. Čistenie a transformácia dát** | Spojenie údajov, odstránenie chybných hodnôt, transformácia súradníc do EPSG:3857 | pandas, pyproj | Pripravený dataset |
| **4. Načítanie geopriestorových podkladov** | Načítanie vrstiev okresov a štátnej hranice SR vo formáte shapefile | geopandas | GeodataFrame |
| **5. Vizualizácia** | Vykreslenie teplôt na mape s farebným rozlíšením, legendou a popismi | matplotlib, cartopy, seaborn | Mapa teplôt |
| **6. Export údajov** | Uloženie údajov do Excel súboru | pandas (.to_excel) | aktuálna_teplota.xlsx |
| **7. Vyhodnotenie extrémov** | Identifikácia staníc s najvyššou a najnižšou teplotou (aj pod 1000 m n. m.) | pandas | Hodnoty extrémov |
| **8. Finálne vykreslenie mapy** | Kompletná mapa s topografiou, okresmi a teplotami | matplotlib, cartopy | PNG mapa |

## Nastavenie automatického spúšťania skriptu

Pre automatizáciu spracovania meteorologických dát bola využitá funkcionalita crontabu, ktorá umožňuje pravidelné spúšťanie skriptov bez potreby manuálneho zásahu (Obr. 3). Crontab je nástroj v systémoch Linux a macOS, ktorý umožňuje naplánovať vykonanie skriptov alebo príkazov v prednastavených časových intervaloch. Na základe potrieb operatívnej prevádzky boli definované časové intervaly pre automatické spúšťanie spracovania a vizualizácie meteorologických dát, čím sa zabezpečila pravidelná aktualizácia produktov a ich dostupnosť pre meteorológov. Nastavenie crontabu tak výrazne prispelo k zefektívneniu procesov a minimalizácii chýb pri analýze aktuálneho počasia. Syntax pre nastavenie úlohy je nasledovná:

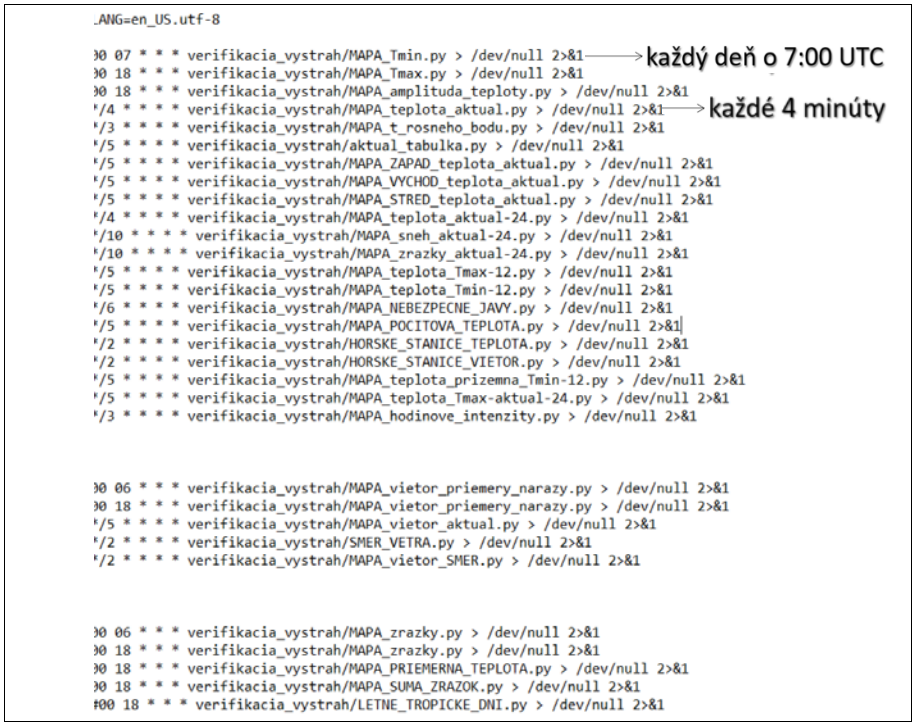



Pre spustenie skriptu každých 15 minút vyzerá syntax takto:

***/15 * * * * /cesta/k/súboru/script.sh**

***Obrázok 3. Ukážka nastavenia spúšťania skriptov pomocou crontabu.***

*Figure 3. Example of script scheduling using crontab.*




### Ukladanie produktov

Všetky vytvorené produkty sa ukladajú v centrálnom adresári, kde sú sprístupnené pre interné použitie meteorológov a ďalšie analýzy (Obr. 4).

K dispozícii je mapa aktuálnej teploty vzduchu pre celé územie Slovenska (pod názvom AKTUALNA_TEPLOTA_SLOVENSKO.png), ale aj pre jednotlivé regióny (napr. AKTUALNA_TEPLOTA_STRED.png). Nasleduje mapa zobrazujúca teplotu rosného bodu (AKTUALNA_Td_SLOVENSKO.png) alebo aj pocitovú teplotu (AKTUALNA_POCITOVA_TEPLOTA_SLOVENSKO.png). Z doplnkových produktov vymenujeme mapy kĺzavého minima a maxima teploty vzduchu za posledných 12 hodín, ale aj odhad maximálnej dennej teploty vzduchu. Na tejto adrese sú k dispozícii aj údaje o zrážkach (napr. UHRN_ZRAZOK_24h.png) alebo aktuálnom smere a rýchlosti vetra (VIETOR_PRIEMERY_ NARAZY_ SMER.png).

Ďalej tu nájdeme priečinky s označením rokov, kde sa ukladajú tzv. archívne materiály (Obr. 5). Tieto priečinky obsahujú produkty z minulých dní, sú usporiadané do štruktúry priečinkov podľa rokov, mesiacov a dní. Každý deň obsahuje niekoľko máp, ktoré poskytujú komplexný prehľad o meteorologických podmienkach.

## VÝSLEDKY

### Produkty pre analýzu aktuálneho počasia

Tieto produkty boli vytvorené za účelom rýchlejšieho oboznámenia sa meteorológa s počasím v aktuálnom čase a v posledných hodinách. Mapa aktuálnej teploty, ako ju vidíme na Obr. 6, umožňuje zobrazenie teploty vzduchu na automatických staniciach SHMÚ. Meteorológ tak veľmi rýchlo dostáva obraz o teplote vzduchu v rôznych regiónoch Slovenska. Na mape sa nachádzajú aj štatistiky zobrazujúce extrémne hodnoty (najvyššiu a najnižšiu teplotu vzduchu), ale aj ďalšie stanice spomedzi najteplejších alebo najchladnejších. Každú stanicu reprezentujú polygón v tvare kruhu, ktorý má pridelenú aj farbu, a to podľa danej teploty vzduchu.

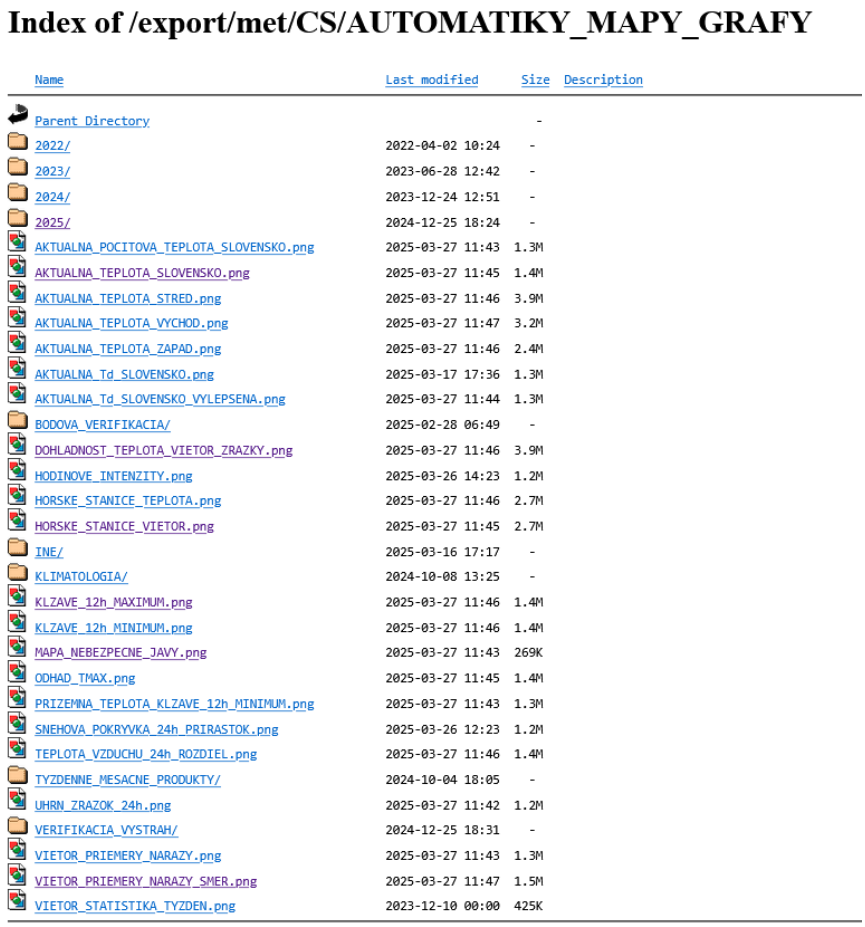
Ďalším produktom na sledovanie situácie ohľadom vetra je mapa aktuálneho smeru a rýchlosti vetra (Obr. 7). Táto v sebe zahŕňa údaje o 10-minútovom priemere, ako aj nárazy vetra. Smer vetra je zobrazený pomocou vlajočiek, tak ako je to bežné na synoptických mapách. Sila vetra je udávaná na základe Beaufortovej stupnice a jednotlivé kategórie sú odlíšené farebne.

Spojenie viacerých parametrov počasia (meteorologických prvkov a javov) ponúka tabuľka na Obr. 8. Nájdeme v nej 20 najvyšších a najnižších hodnôt teploty vzduchu zoradených zostupne, resp. vzostupne. Ďalej informáciu o vodorovnej dohľadnosti, teda o tom, či je alebo nie je niekde hmla. Ďalším prvkom je vietor - jeho priemerná rýchlosť, ale aj nárazy a v neposlednom rade 12-hodinový úhrn zrážok na 20-tich staniciach zoradených od najvyššej hodnoty po najnižšiu v rámci tohto výberu.

Prehľad o počasí v posledných dňoch ponúkajú rôzne grafy, medzi nimi napríklad porovnanie minimálnej teploty vzduchu na celom území Slovenska za posledný týždeň (Obr. 9). Ide o zobrazenie pomocou krabicových grafov, kde je možné vidieť extrémne hodnoty v rámci súboru údajov, ale aj rozptyl hodnôt a štatistické ukazovatele ako napríklad medián.

***Obrázok 4. Ukážka uloženia meteorologických produktov v adresári.***

*Figure 4. Example of storing meteorological products in a directory.*



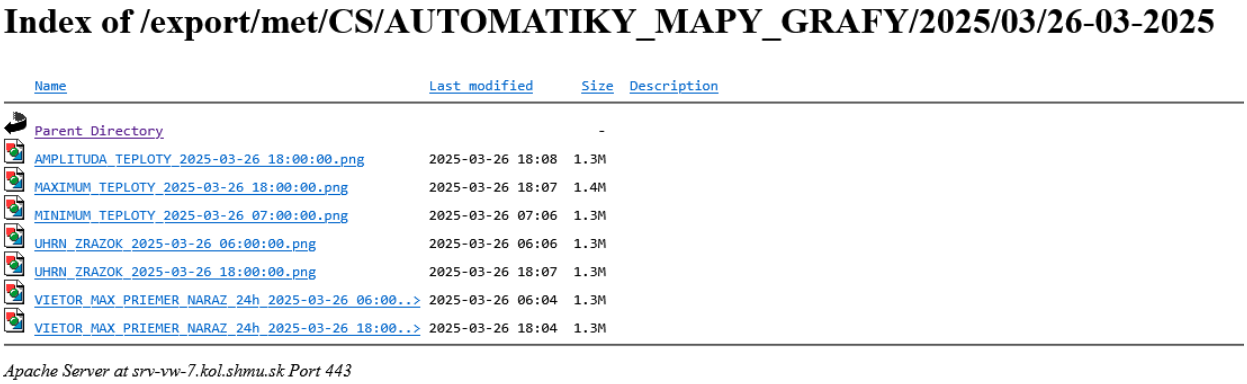
**Index of /export/met/CS/AUTOMATIKY_MAPY_GRAFY**

| Name | Last modified | Size | Description |
|---|---|---|---|
| Parent Directory | | - | |
| 2022/ | 2022-04-02 10:24 | - | |
| 2023/ | 2023-06-28 12:42 | - | |
| 2024/ | 2023-12-24 12:51 | - | |
| 2025/ | 2024-12-25 18:24 | - | |
| AKTUALNA_POCITOVA_TEPLOTA_SLOVENSKO.png | 2025-03-27 11:43 | 1.3M | |
| AKTUALNA_TEPLOTA_SLOVENSKO.png | 2025-03-27 11:45 | 1.4M | |
| AKTUALNA_TEPLOTA_STRED.png | 2025-03-27 11:46 | 3.9M | |
| AKTUALNA_TEPLOTA_VYCHOD.png | 2025-03-27 11:47 | 3.2M | |
| AKTUALNA_TEPLOTA_ZAPAD.png | 2025-03-27 11:46 | 2.4M | |
| AKTUALNA_Td_SLOVENSKO.png | 2025-03-17 17:36 | 1.3M | |
| AKTUALNA_Td_SLOVENSKO_VYLEPSENA.png | 2025-03-27 11:44 | 1.3M | |
| BODOVA_VERIFIKACIA/ | 2025-02-28 06:49 | - | |
| DOHLADNOST_TEPLOTA_VIETOR_ZRAZKY.png | 2025-03-27 11:46 | 3.9M | |
| HODINOVE_INTENZITY.png | 2025-03-26 14:23 | 1.2M | |
| HORSKE_STANICE_TEPLOTA.png | 2025-03-27 11:46 | 2.7M | |
| HORSKE_STANICE_VIETOR.png | 2025-03-27 11:45 | 2.7M | |
| INE/ | 2025-03-16 17:17 | - | |
| KLIMATOLOGIA/ | 2024-10-08 13:25 | - | |
| KLZAVE_12h_MAXIMUM.png | 2025-03-27 11:46 | 1.4M | |
| KLZAVE_12h_MINIMUM.png | 2025-03-27 11:46 | 1.4M | |
| MAPA_NEBEZPECNE_JAVY.png | 2025-03-27 11:43 | 269K | |
| ODHAD_TMAX.png | 2025-03-27 11:45 | 1.4M | |
| PRIZEMNA_TEPLOTA_KLZAVE_12h_MINIMUM.png | 2025-03-27 11:43 | 1.3M | |
| SNEHOVA_POKRYVKA_24h_PRIRASTOK.png | 2025-03-26 12:23 | 1.2M | |
| TEPLOTA_VZDUCHU_24h_ROZDIEL.png | 2025-03-27 11:46 | 1.4M | |
| TYZDENNE_MESACNE_PRODUKTY/ | 2024-10-04 18:05 | - | |
| UHRN_ZRAZOK_24h.png | 2025-03-27 11:42 | 1.2M | |
| VERIFIKACIA_VYSTRAH/ | 2024-12-25 18:31 | - | |
| VIETOR_PRIEMERY_NARAZY.png | 2025-03-27 11:43 | 1.3M | |
| VIETOR_PRIEMERY_NARAZY_SMER.png | 2025-03-27 11:47 | 1.5M | |
| VIETOR_STATISTIKA_TYZDEN.png | 2023-12-10 00:00 | 425K | |

*Apache Server at srv-vw-7.kol.shmu.sk Port 443*

***Obrázok 5. Archívne produkty a ich umiestnenie v adresári.***

*Figure 5. Archived products and their location in the directory.*



**Index of /export/met/CS/AUTOMATIKY_MAPY_GRAFY/2025/03/26-03-2025**

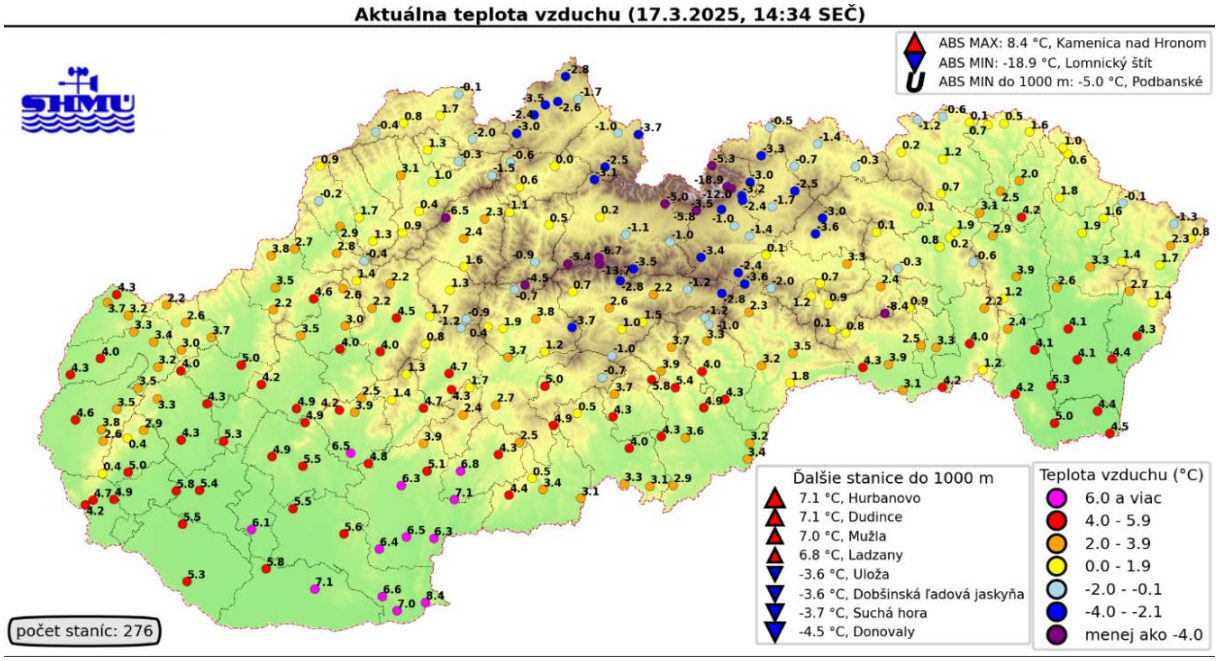
| Name | Last modified | Size | Description |
|---|---|---|---|
| Parent Directory | | - | |
| AMPLITUDA_TEPLOTY_2025-03-26_18:00:00.png | 2025-03-26 18:08 | 1.3M | |
| MAXIMUM_TEPLOTY_2025-03-26_18:00:00.png | 2025-03-26 18:07 | 1.4M | |
| MINIMUM_TEPLOTY_2025-03-26_07:00:00.png | 2025-03-26 07:06 | 1.3M | |
| UHRN_ZRAZOK_2025-03-26_06:00:00.png | 2025-03-26 06:06 | 1.3M | |
| UHRN_ZRAZOK_2025-03-26_18:00:00.png | 2025-03-26 18:07 | 1.3M | |
| VIETOR_MAX_PRIEMER_NARAZ_24h_2025-03-26_06:00..> | 2025-03-26 06:04 | 1.3M | |
| VIETOR_MAX_PRIEMER_NARAZ_24h_2025-03-26_18:00..> | 2025-03-26 18:04 | 1.3M | |

*Apache Server at srv-vw-7.kol.shmu.sk Port 443*

Na Obr. 10 môžete vidieť mapu nebezpečných javov. Ide o rozšírenie zobrazenia údajov v tabuľke na Obr. 8 v mapovej forme. Vylepšenie spočíva v tom, že sú zobrazené (zvýraznené) iba stanice, kde nameraná hodnota meteorologického parametra sa približuje ku hranici pre vydanie výstrahy pred nebezpečnými meteorologickými javmi. Ak napríklad kritérium pre prvý stupeň výstrahy na vietor je priemerná rýchlosť vetra 12 m/s (45 km/h) a nárazy vetra aspoň 18 m/s (65 km/), tak na zvýraznenie stanice stačí priemerná rýchlosť 10 (35 km/h) alebo 11 m/s (40 km/h) a nárazy vetra vyššie ako 16 m/s (60 km/h). Meteorológovia sú tak včas upovedomení a majú ešte čas sa oboznámiť so situáciou. Tieto hranice sú dohodnuté samotnými meteorológmi.

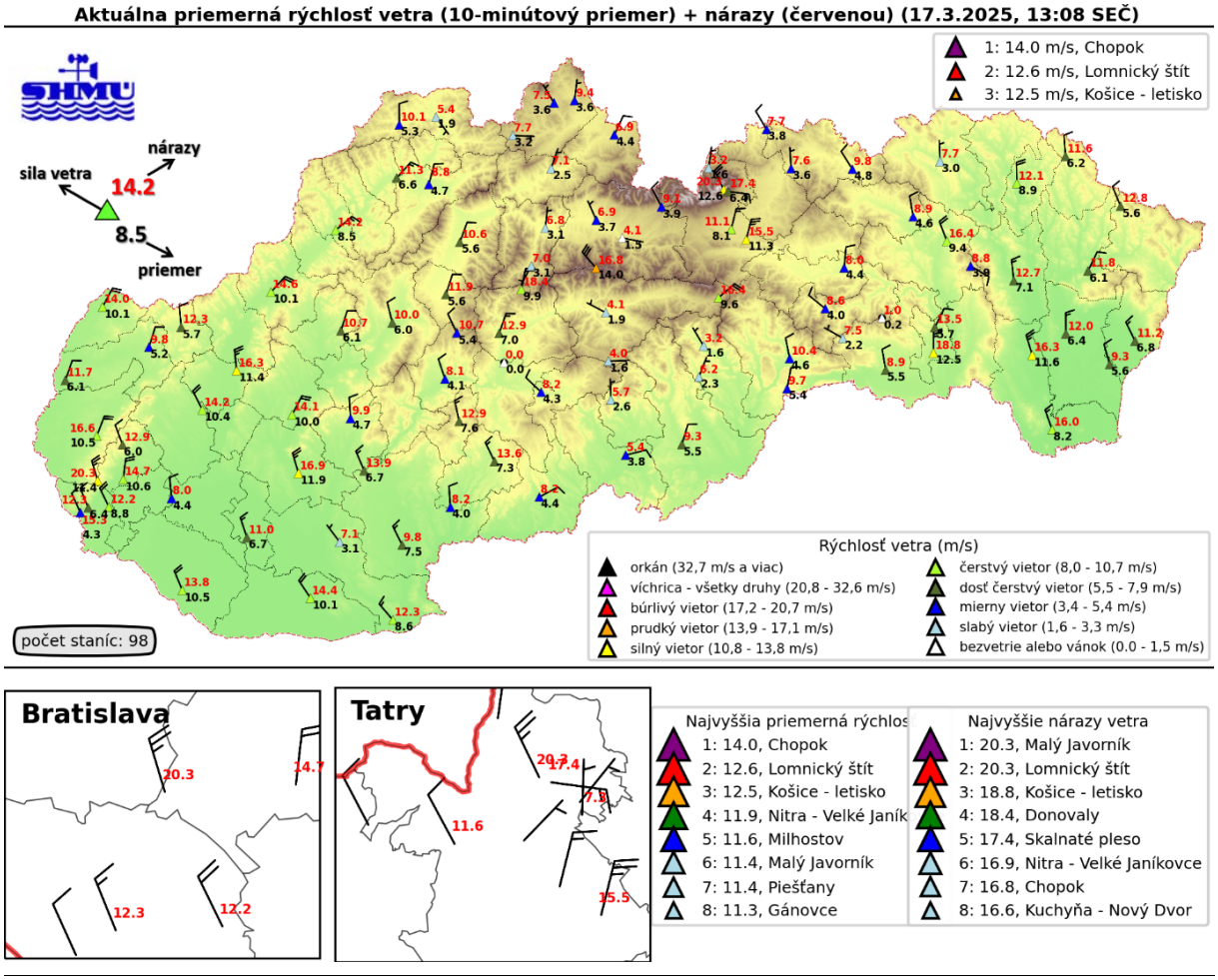
***Obrázok 6. Mapa aktuálnej teploty vzduchu (17. 3. 2025, 14:34 SEČ).***

*Figure 6. Map of current air temperature (March 17, 2025, 14:34 CET).*



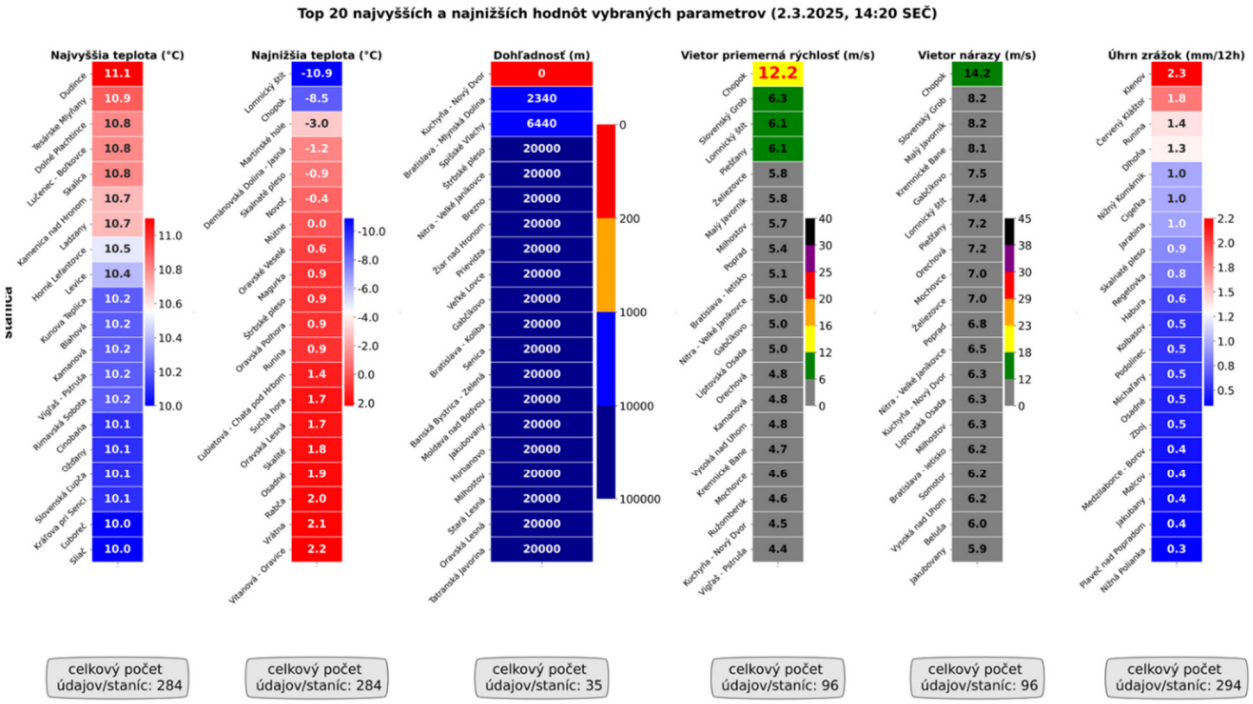

***Obrázok 7. Mapa aktuálnej priemernej rýchlosti vetra a nárazov vetra (17. 3. 2025, 13:08 SEČ).***

*Figure 7. Map of current average wind speed and wind gusts (March 17, 2025, 13:08 CET).*



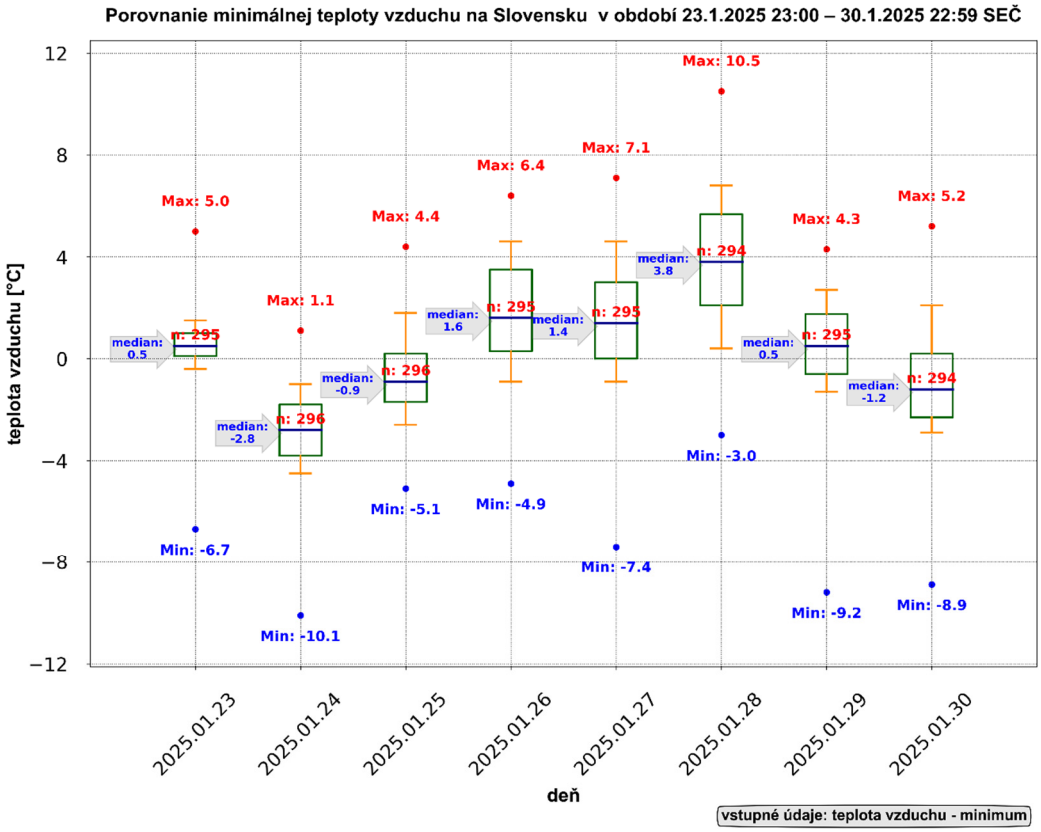
***Obrázok 8. Tabuľka zobrazujúca viaceré meteorologické parametre na jednom mieste (2. 3. 2025, 14:20 SEČ).***

*Figure 8. Table displaying multiple meteorological parameters in a single location (March 2, 2025, 14:20 CET).*



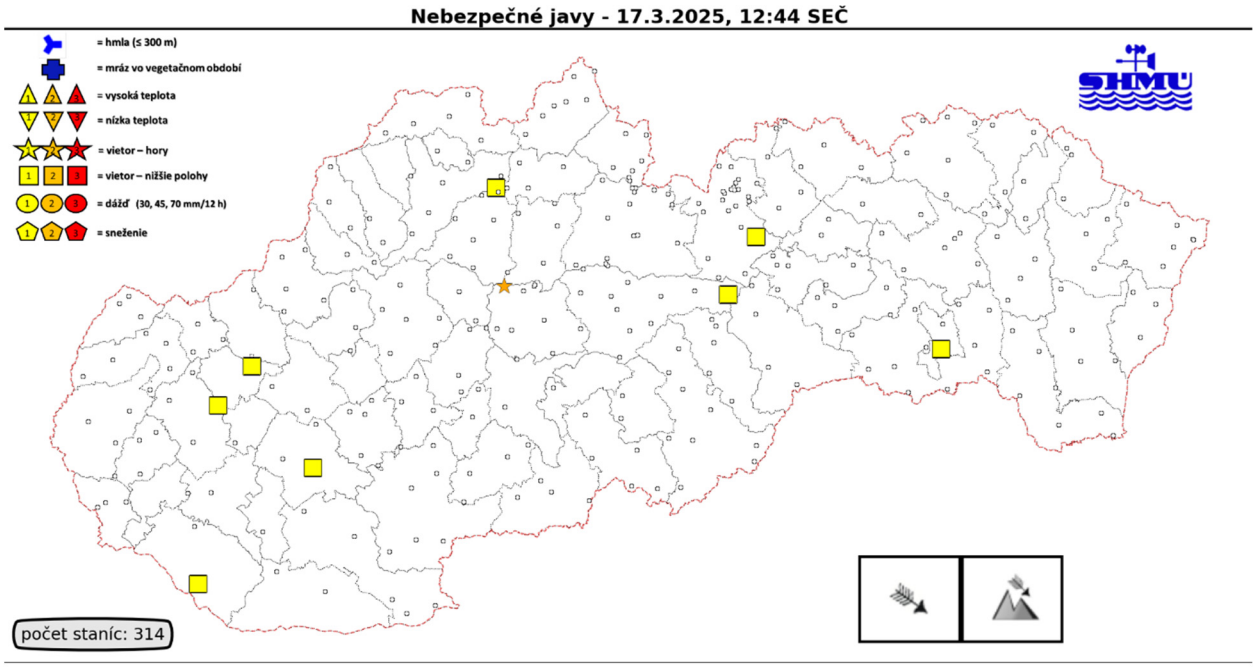

***Obrázok 9. Krabicový (box plot) graf zobrazujúci štatistiku minimálnej teploty vzduchu za posledný týždeň (30. 1. 2025 22:59 SEČ).***

*Figure 9. Box plot displaying the statistics of the minimum air temperature over the last week (January 30, 2025, 22:59 CET).*



***Obrázok 10. Mapa nebezpečných javov zobrazujúca stanice, kde sa hodnoty meteorologických parametrov blížia ku hraniciam pre naplnenie kritérií pre vydanie výstrah.***

*Figure 10. Map of hazardous phenomena displaying stations where meteorological parameter values are approaching the thresholds for issuing warnings.*




## Vytváranie archívnych materiálov pre daný deň

Tieto produkty boli vytvorené najmä pre účely analýzy počasia v predošlých dňoch. Umožňujú rýchlu analýzu historických dát a efektívne porovnávanie rôznych meteorologických udalostí v priebehu času. V rámci archívnych materiálov sa každý deň ukladajú nasledovné mapy:

- Amplitúda teploty vzduchu;
- Maximum teploty vzduchu;
- Minimum teploty vzduchu;
- Úhrn zrážok;
- Maximálna priemerná rýchlosť vetra a maximálne nárazy vetra.

Príklad takéhoto archívneho produktu môžete vidieť na Obr. 11. Ide v princípe o rovnaký prístup ako v mape na Obr. 7 s tým rozdielom, že údaje sú agregované za obdobie posledných 12-tich hodín a mapy sa generujú vždy ráno a večer tak, aby ju mal k dispozícii najmä meteorológ, ktorý práve prišiel do služby.

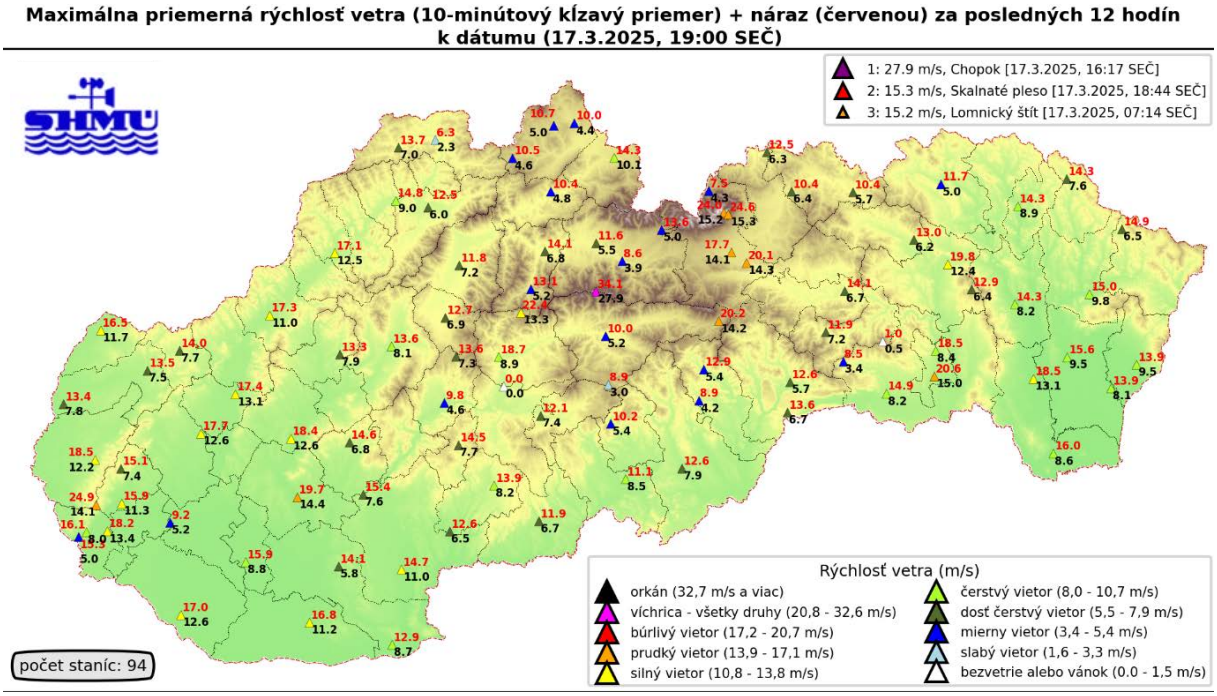
## DISKUSIA

Python je v súčasnosti kľúčovým nástrojom pre analýzu a vizualizáciu meteorologických dát, najmä vďaka knižniciam ako Pandas, NumPy, Matplotlib, SciPy, MetPy a Cartopy. Tieto knižnice umožňujú spracovanie časových radov, tvorbu grafov, numerické modelovanie a vizualizáciu geografických dát. Prostredníctvom nástroja cron sa automatizujú úlohy, čo umožňuje pravidelnú aktualizáciu meteorologických produktov bez manuálneho zásahu. Tento prístup znižuje čas potrebný na spracovanie dát a zvyšuje efektívnosť operatívnej prevádzky. Proces zahŕňa načítanie údajov zo staničnej siete, ich predspracovanie, vizualizáciu na mapách a grafickú analýzu. Kľúčovým krokom je integrácia údajov z rôznych zdrojov (napr. automatické stanice SHMÚ, údaje z Horskej záchrannej služby) do jednej centralizovanej databázy, čo umožňuje rýchlejšiu analýzu a rozhodovanie pri tvorbe predpovedí.

Príspevok prezentuje prácu s Python kódom na základe mapy aktuálnej teploty vzduchu. Mapová vizualizácia umožňuje meteorológom rýchlo vyhodnotiť aktuálne počasie na Slovensku a vytvoriť presnejšie predpovede. Všetky vytvorené produkty sú archivované a dostupné aj pre ďalšiu analýzu počasia v predchádzajúcich dňoch. Viaceré z nich sú meteorológmi využívané už približne tri roky, teda od roku 2022. To je dostatočný čas na oboznámenie sa s nimi a poskytnutie spätnej väzby. Za účelom zistenia spätnej väzby bol vytvorený dotazník s viacerými otázkami, ktorých účelom bolo zistiť najmä spokojnosť s týmito produktami. V neposlednom rade môžu výsledky dotazníka pomôcť v optimalizácii týchto produktov. Grafy na Obr. 12 dokumentujú, že najčastejšie používané produkty na vizualizáciu údajov z automatických staníc prostredníctvom programovacieho jazyka Python na OMPaV sú tie, ktoré informujú o aktuálnom počasí. Veľmi využívané sú aj archívne materiály, ktoré meteorológovia využívajú najmä pri nástupe do služby. Najviac preferované sú mapy, menej grafy, a to v prvom rade preto, že mapa ponúka aj informáciu o priestorovej distribúcii daného meteorologického parametra v priestore. Druhým dôvodom je fakt, že generovaných grafov je podstatne menej ako máp.

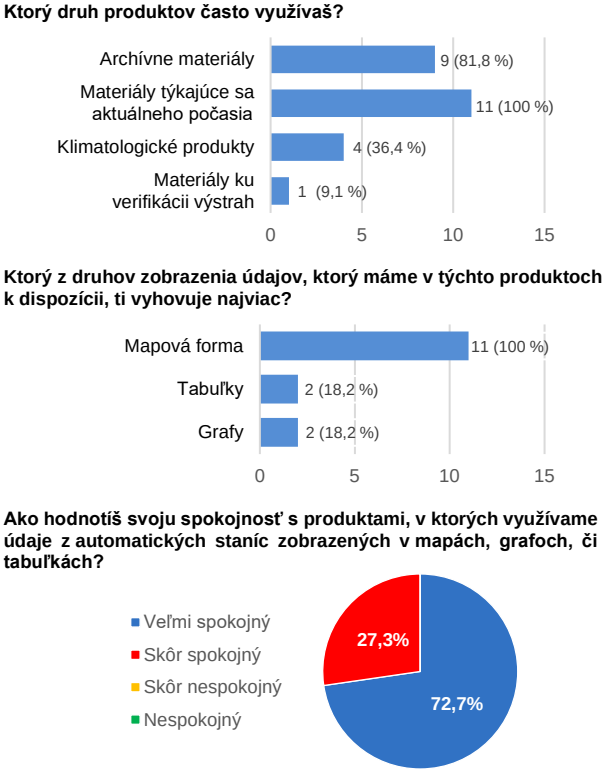
***Obrázok 11. Mapa maximálnej priemernej rýchlosti vetra a nárazov vetra za posledných 12 hodín (17. 3. 2025, 19:00 SEČ).***

*Figure 11. Map of the maximum average wind speed and wind gusts over the last 12 hours (March 17, 2025, 19:00 CET).*




***Obrázok 12. Výsledky dotazníka adresovanému prognostikom na OMPaV SHMÚ za účelom zistenia spokojnosti s produktami vizualizácie údajov z automatických staníc pomocou programovacieho jazyka Python.***

*Figure 12. Results of a questionnaire addressed to forecasters at the Forecasts and Warnings Department of SHMÚ aimed at assessing satisfaction with data visualization products from automatic stations using the Python programming language.*




Výhoda oproti tradičným nástrojom (Autoview, Visual Weather) je automatizácia, účelovosť a prehľadnosť. Nie je potrebné nič zadávať a podľa požiadaviek meteorológov sa skript nastaví tak, aby výsledný produkt čo najviac spĺňal ich požiadavky. Podobné možnosti ponúka aj nástroj Visual Weather, ale podobná vizualizácia je naďalej v procese prípravy a výsledné zobrazenia zatiaľ nepostačujú požiadavkám prevádzky na OMPaV, resp. ešte sa zo strany meteorológov neosvedčili. Vývoj produktov v prostredí Visual Weather je spomalený najmä nedostatkom personálnych kapacít, ktoré by sa tejto úlohe mohli venovať. To je zároveň aj hlavná slabina vo vývoji produktov pomocou programovacieho jazyka Python. Ten ponúka širokú paletu využitia - napríklad aj pri verifikácii výstrah, ale vývoj v tejto oblasti je extrémne pomalý. Ďalším nedostatkom prezentovaných Python-produktov je statický výstup vo forme obrázka vo formáte png, s ktorým sa nedá ďalej pracovať. Posunom by bolo vytvorenie webového rozhrania, kde by bolo možné dané mapy priblížiť alebo oddialiť a podobne. Veľkým posunom by bola aj možnosť vytvoriť interaktívnu mapu, kde by sa po kliknutí na danú stanicu zobrazil napríklad graf s priebehom meteorologického prvku za vybrané obdobie (napríklad posledných pár hodín).

Problémom sú aj chybné údaje, ktoré sa občas vyskytnú a ich filtrácia je iba veľmi jednoduchá. V súčasnosti by preto malo byť cieľom nerozširovať, ale optimalizovať kódy, odstraňovať chyby údajov a zlepšovať výpočtovú efektivitu. Výsledkom potom bude tvorba výstupov v čo najkratšom čase s minimálnym množstvom chybných údajov.

## ZÁVER

Python sa ukázal ako užitočný nástroj pri spracovaní meteorologických dát, kde efektívne kombinuje analýzu, vizualizáciu a automatizáciu procesov. To vedie k rýchlejšiemu a presnejšiemu rozhodovaniu, čo je kľúčové pre meteorologické predpovede a vydávanie výstrah. Ako vhodné riešenie sa ukázali najmä mapové produkty, pretože umožňujú zobrazenie kľúčových meteorologických parametrov, ako sú teplota, vietor, zrážky a ďalšie premenné v geografickom kontexte. Všetky tieto produkty sú v súčasnosti pre meteorológov dostupné na jednom mieste, a preto nie je potrebné prehľadávať viacero zdrojov. To výrazne zjednodušilo analýzu aktuálneho stavu počasia a umožnilo rýchlejšie rozhodovanie pri tvorbe predpovedí počasia a vydávaní meteorologických výstrah.

## LITERATÚRA


*Hunter, J. D., 2007, Matplotlib: A 2D Graphics Environment. Computing in Science & Engineering, 9(3), 90 – 95.*

*Lin, J.W.-B., 2012, A Hands-On Introduction to Using Python in the Atmospheric and Oceanic Sciences.*

*May, R.M. et al., 2022, MetPy: A Python Package for Meteorological Data. Journal of Open Source Software, 7(70), 4046.*

*McKinney, W., 2012, Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. O'Reilly Media.*

*Virtanen, P. et al., 2020, SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. Nature Methods, 17, 261 – 272.*

# POROVNANIE NITRIANSKEHO, TRNAVSKÉHO A TRENČIANSKEHO KRAJA Z HĽADISKA KVALITY OVZDUŠIA V ROKU 2023 A 2024

MICHAL MLADÝ

***The article deals with air pollution levels in three NUTS-3 regions of Western Slovakia – Trnava, Nitra and Trenčín regions (zones) – in 2023 and 2024 in a national context. The introduction includes a map showing the proportion and number of inhabitants in zones and agglomerations in Slovakia according to the risk of poor air quality in municipalities in 2023, as well as maps of the Trnava, Nitra, and Trenčín regions with municipalities and their risk levels 1 – 3 of poor air quality in 2023. It then focuses on $PM_{10}$ and $PM_{2.5}$ pollution levels according to national and new EU limits (approved in 2024), which will come into force on 1 January 2030. In terms of current concentrations of pollutants in the air in our country, these new EU limits are so strict (especially for $PM_{2.5}$) that they need close attention, focused on effective action today. The Trnava region is one of the two zones (together with the zone Bratislava region, which consists of the Bratislava NUTS-3 region without the agglomeration Bratislava) with the lowest proportion of the population living in municipalities with a higher risk of poor air quality in Slovakia. Although the Nitra region ranks third among the eight Slovak zones based on this proportion, high levels of air pollution are measured in the south-eastern part of the region. The village of Plášťovce, located north of Šahy in the Hont region, has been ranked (since the start of measurements in 2021) together with Jelšava (Banská Bystrica region) and Veľká Ida (agglomeration Košice) near U.S. Steel Košice among the three locations where we monitor the highest levels of PM and BaP in the air in Slovakia. According to the risk of poor air quality, the Trenčín region belongs to the second group of zones, together with the Prešov region and the zone Košice region (Košice NUTS-3 region without the agglomeration Košice).***

***Článok sa zaoberá úrovňou znečistenia ovzdušia v troch NUTS-3 regiónoch západného Slovenska – Trnavskom, Nitrianskom a Trenčianskom kraji (zónach) – v roku 2023 a 2024 v celoštátnom kontexte. V úvode obsahuje mapu podielu a počtu obyvateľov v zónach a aglomeráciách Slovenska podľa rizika nepriaznivej kvality ovzdušia v obciach v roku 2023, ako aj mapy Trnavského, Nitrianskeho a Trenčianskeho kraja s obcami a ich úrovňou rizika 1 – 3 nepriaznivej kvality ovzdušia v roku 2023. Ďalej sa zameriava na úroveň znečistenia $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ podľa národných limitov a nových EÚ limitov (schválených v roku 2024), ktoré začnú platiť od 1. januára 2030. Z hľadiska súčasných koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší u nás sú tieto nové EÚ limity také prísne (najmä pre $PM_{2,5}$), že je potrebné im venovať veľkú pozornosť zacielenú na efektívne opatrenia už dnes. Trnavský kraj je jednou z dvoch zón (spolu so zónou Bratislavský kraj, ktorú tvorí Bratislavský kraj bez aglomerácie Bratislava) s najnižším podielom obyvateľstva žijúcich v obciach s vyšším rizikom nepriaznivej kvality ovzdušia na Slovensku. Hoci Nitriansky kraj je na základe tohto podielu tretí najlepší spomedzi 8 slovenských zón, vysoké úrovne znečistenia ovzdušia sú merané v juhovýchodnej časti tohto kraja. Obec Plášťovce, ktorá sa nachádza severne od Šiah v regióne Hont, sa od začiatku meraní v roku 2021 zaradila spolu s Jelšavou (Banskobystrický kraj) a Veľkou Idou (aglomerácia Košice) pri U. S. Steel Košice medzi tri lokality, kde monitorujeme najvyššie hodnoty PM a BaP v ovzduší na Slovensku. Trenčiansky kraj podľa rizika nepriaznivej kvality ovzdušia patrí do druhej skupiny zón spolu s Prešovským krajom a zónou Košický kraj (Košický kraj bez aglomerácie Košice).***

***Key words: air quality, new EU limits, PM, BaP, risk of poor air quality, household heating, heating days, orography, ventilation index, temperature inversions, dispersion conditions, zones (NUTS-3 regions), agglomerations***

*„Som 300 dní v roku na cestách. Hovorím o tom, čo robíme našej planéte, ako nivočíme lesy, znečisťujeme oceány, ovzdušie a rieky, ako postrekujeme naše potraviny jedovatými chemikáliami, pesticídmi a herbicídmi. Musím pracovať s mladými ľuďmi, aby sme vychovali nové generácie, ktoré sa budú o túto krehkú starú planétu starať lepšie ako my, kým nie je neskoro."*

*Jane Goodall: O práci, ktorú robí dnes ako 84-ročná (august 2018).* https://earth.org/jane-goodall-quotes/

## ÚVOD

Najzávažnejšími znečisťujúcimi látkami v ovzduší na Slovensku sú z hľadiska úrovne koncentrácií a ich negatívneho vplyvu na ľudské zdravie častice PM, karcinogénny BaP a prízemný ozón. Slovenská republika sa regionálne na úrovni NUTS-2 člení na Bratislavský kraj, Západné, Stredné a Východné Slovensko. Článok sa zameriava na znečistenie ovzdušia látkami PM a BaP v NUTS-2 regióne Západné Slovensko – ktorý tvoria Trnavský, Nitriansky a Trenčiansky kraj a ktoré nebývajú stredobodom pozornosti pri sledovaní kvality ovzdušia u nás – v celoslovenskom kontexte. Kým z hľadiska orografie v prvých dvoch krajoch dominuje Podunajská nížina, Trenčiansky kraj na severe západného Slovenska má zväčša hornatý charakter. Na kvalitu toho, čo dýchame, majú okrem vypúšťaných emisií do ovzdušia vplyv reliéf krajiny (ten ovplyvňuje prúdenie vzduchu) a meteorologické podmienky. Veľmi dôležitým parametrom je teplota, od ktorej napríklad závisí vykurovanie domov v chladnom období, čo je významné preto, že sa naň v niektorých oblastiach Slovenska vo veľkej miere využíva tuhé palivo výrazne prispievajúce k znečisteniu ovzdušia.

https://doi.org/10.62699/mj28.2x.45
Available online: November 30, 2025

## RIZIKOVÉ STUPNE OBCÍ

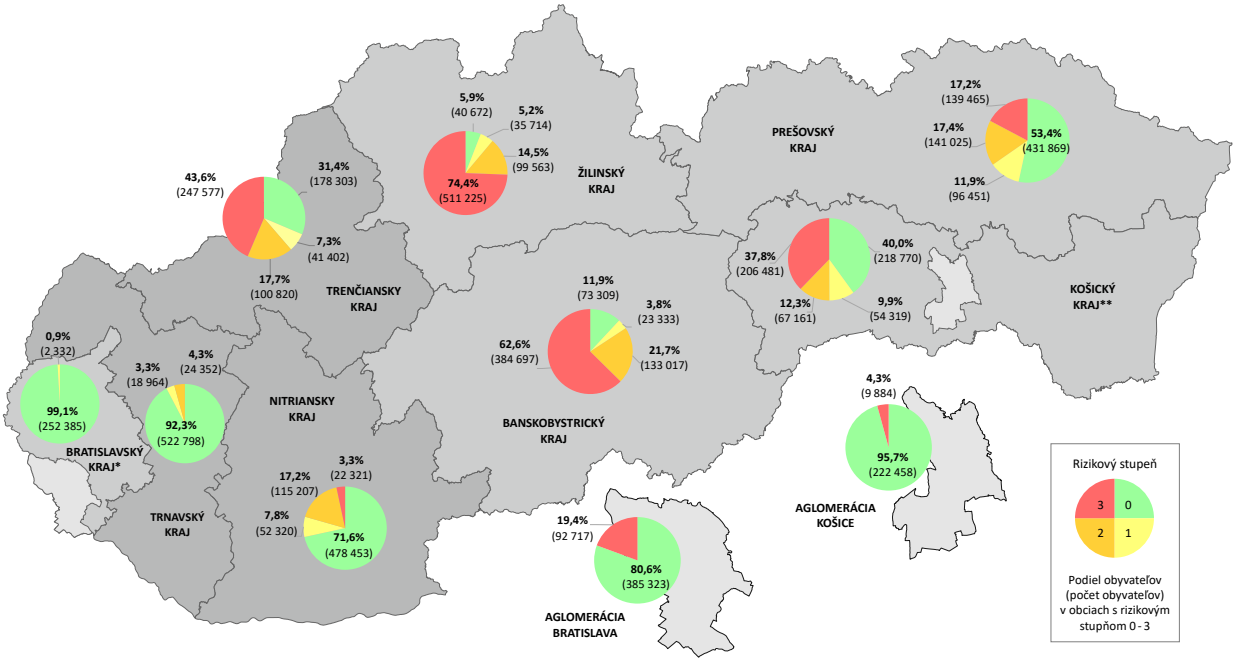
SHMÚ vypracoval zoznam obcí podľa rizika nepriaznivej kvality ovzdušia metódou integrovaného posúdenia obcí [1]. Obr. 1 porovnáva kraje SR z hľadiska podielu a počtu obyvateľov (k 31. 12. 2023) žijúcich v obciach s rizikovým stupňom 0, 1, 2 a 3 v roku 2023, pričom stupeň 3 zodpovedá najvyššej pravdepodobnosti ohrozenia zdravia znečistením ovzdušia. Metóda integrovaného posúdenia obcí je založená na hodnotení rizika zhoršenej kvality ovzdušia podľa viacerých kritérií – kladie dôraz na vykurovanie domácností tuhým palivom, zohľadňuje rozptylové podmienky nepriamo cez viaceré výstupy regionálneho modelovania kvality ovzdušia a berie do úvahy výsledky modelovania s vysokým rozlíšením. Najvýraznejším obmedzením metódy je nedostatočné priestorové rozlíšenie vstupných informácií o druhu palív a vykurovacích zariadení používaných pri vykurovaní domácností. Na jej základe možno podľa podielu obyvateľov žijúcich v obciach s rizikovými stupňami 0, 1, 2 a 3 rozlíšiť tri skupiny zón na Slovensku – najmenšie riziko zaťaženia obyvateľstva znečistením ovzdušia majú zóny Bratislavský kraj (bez aglomerácie Bratislava), Trnavský a Nitriansky kraj, stredné riziko zaťaženia majú zóny Trenčiansky, Prešovský a Košický kraj (bez aglomerácie Košice) a tretiu skupinu tvoria zóny Žilinský a Banskobystrický kraj, v ktorých je podiel obyvateľov obcí s rizikovým stupňom 3 najvyšší. V oboch slovenských aglomeráciách majú niektoré mestské časti a obec Veľká Ida (je súčasťou aglomerácie Košice) pri U. S. Steel Košice rizikový stupeň 3 – podľa trvalého bydliska žije v tomto rizikovom stupni 19,4 % obyvateľov aglomerácie Bratislava a 4,3 % obyvateľov aglomerácie Košice, zvyšné časti oboch aglomerácií majú rizikový stupeň 0.

**Trnavský kraj** (Obr. 2A) s priemerným počtom vykurovacích dní 207 v roku 2023 (zdroj: databáza SHMÚ) je jednou z dvoch zón Slovenska s výrazne najnižším podielom obyvateľov vystavených riziku zníženej kvality ovzdušia (najlepšou z tohto hľadiska je zóna Bratislavský kraj: 0,9 % obyvateľov žije v obciach s rizikovým stupňom 1, obce so stupňom 2 a 3 sa v tejto zóne nevyskytujú). V Trnavskom kraji žije 19 tis. (3,3 %) obyvateľov v obciach s rizikovým stupňom 1 a 24 tis. (4,3 %) obyvateľov v obciach s rizikovým stupňom 2. Z týchto obcí je len jedna mestom (min. 5 000 obyvateľov): Veľký Meder (rizikový stupeň 1). Obec s rizikovým stupňom 3 sa v kraji nenachádza. Dominuje v ňom vykurovanie domácností plynom s výnimkou obcí v oblasti Malých Karpát na severe kraja.

**Nitriansky kraj** (Obr. 2B) s priemerným počtom vykurovacích dní 201 (r. 2023) patrí do prvej skupiny slovenských zón s relatívne najmenším zaťažením obyvateľstva rizikom zníženej kvality ovzdušia – 167,5 tis. obyvateľov (25,1 %) žije v obciach s rizikovým stupňom 1 a 2, a 22 tis. obyvateľov (3,3 %) v obciach (z nich sú dve mestá: Zlaté Moravce a Šahy) s najvyšším stupňom 3. Jednako automatická monitorovacia stanica (AMS) v Plášťovciach v juhovýchodnom cípe Nitrianskeho kraja dosahuje jedny z najvyšších koncentrácií PM a BaP v ovzduší na Slovensku. V kraji dominuje vykurovanie domácností plynom, v jeho juhovýchodnej časti vykurovanie tuhým palivom. V tejto oblasti ležia dve mestá (Šahy s rizikovým stupňom 3 a Želiezovce so stupňom 2) a jedna obec s rizikovým stupňom 3 (Plášťovce).

***Obrázok 1. Podiel a počet obyvateľov v zónach a aglomeráciách Slovenska podľa rizika nepriaznivej kvality ovzdušia v obciach v roku 2023.***

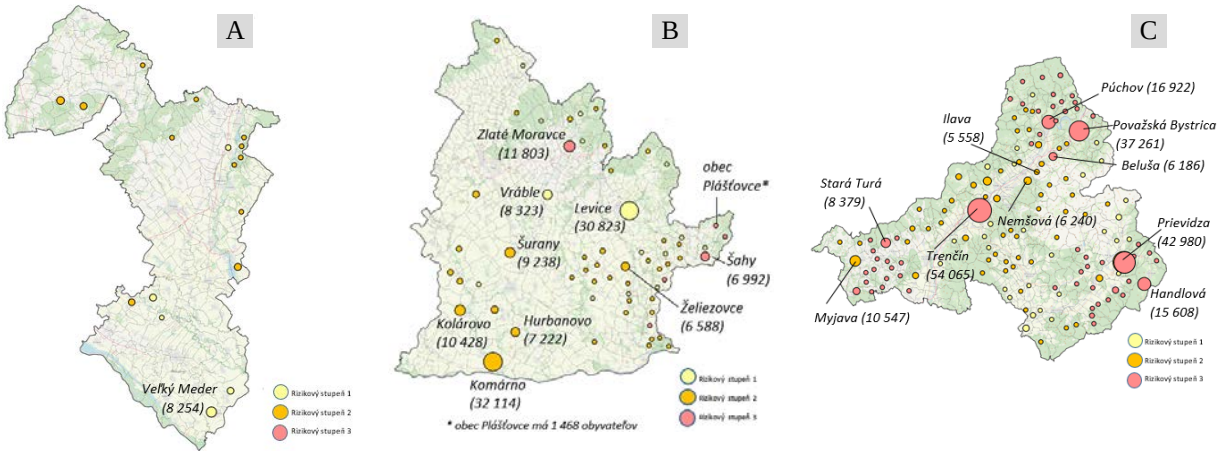
*Figure 1. Share and number of inhabitants in zones and agglomerations of Slovakia by risk of poor air quality in municipalities in 2023.*




*Poznámka: Bratislavský kraj* – bez Bratislavy; Košický kraj** – bez Košíc*

***Obrázok 2. Obce a počet obyvateľov miest Trnavského kraja (A), Nitrianskeho kraja (B) a Trenčianskeho kraja (C) podľa rizika nepriaznivej kvality ovzdušia v r. 2023.***

*Figure 2. Municipalities and number of inhabitants in cities of Trnava region (A), Nitra region (B) and Trenčín region (C) according to the risk of poor air quality in 2023.*

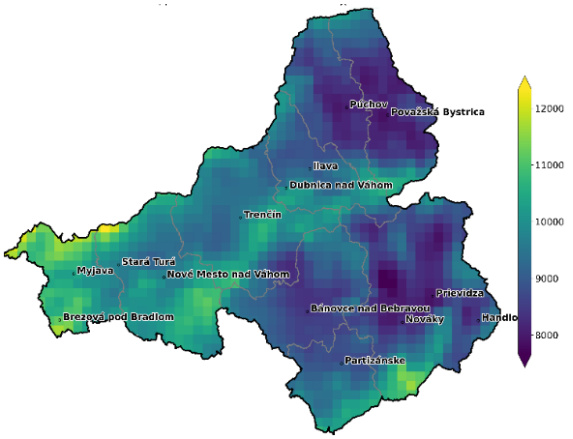



Situácia v Trenčianskom kraji (Obr. 2C) je z hľadiska kvality ovzdušia celkovo horšia. Príčinou sú geografické podmienky a s tým súvisiaci vyšší počet vykurovacích dní (217 v r. 2023), keďže kraj leží severnejšie a je prevažne hornatý. Negatívny vplyv na to, čo dýchame, má najmä v zimnom období aj vykurovanie domácností tuhým palivom. V Trenčianskom kraji žije 568 tis. obyvateľov (68,6 %) v obciach s rizikovým stupňom nepriaznivej kvality ovzdušia 1 až 3. V obciach s najvyššou pravdepodobnosťou ohrozenia zdravia znečistením ovzdušia (rizikový stupeň 3) žije 43,6 % obyvateľov kraja – z miest sú to Trenčín, Prievidza, Považská Bystrica, Púchov, Handlová, Stará Turá a Beluša.

Obr. 3 ilustruje rozloženie ventilačného indexu v Trenčianskom kraji. Vyššie hodnoty indexu, ktoré sa zväčša týkajú vyššie položených horských oblastí, zodpovedajú lepším rozptylovým podmienkam.

***Obrázok 3. Priemerný ročný ventilačný index v Trenčianskom kraji.***

*Figure 3. Average annual ventilation index in Trenčín region.*




## PM$_{10}$ A PM$_{2,5}$

Obr. 4 – 9 znázorňujú vývoj ročného priemeru PM$_{2,5}$ (limit: 20 µg/m$^3$) a denného priemeru PM$_{10}$ – t. j. počtu dní priemernej dennej koncentrácie PM$_{10}$ > 50 µg/m$^3$ (limit: maximálne 35 prekročení[1]) v Trnavskom, Nitrianskom a Trenčianskom kraji (zóne) v rokoch 2017 – 2024. Najvyššie hodnoty PM porovnávame s najvyššie nameraným znečistením ovzdušia v iných krajoch.

## Ročný priemer PM$_{2,5}$

V roku 2024 boli Plášťovce jedinou stanicou na Slovensku, ktorá prekročila limit pre ročný priemer PM$_{2,5}$, ktorý tu dosiahol 22 µg/m$^3$. V roku 2022 ho prekročili tri stanice – Plášťovce, Veľká Ida (aglomerácia Košice) a Jelšava (Banskobystrický kraj), pričom všetky zaznamenali ročnú priemernú koncentráciu 22 µg/m$^3$. V roku 2023 dosiali tieto tri stanice takisto najvyššie hodnoty tohto ukazovateľa na Slovensku, a to 20 µg/m$^3$.

Medziročný vývoj (2023 a 2024) ročného priemeru PM$_{2,5}$: Nitriansky kraj – nárast na všetkých staniciach, najviac v Janíkovciach (z 12,0 µg/m$^3$ na 14,6 µg/m$^3$) a Plášťovciach (z 19,6 µg/m$^3$ na 21,9 µg/m$^3$); Trnavský kraj – zlepšenie na všetkých AMS (najviac v Senici: pokles z 13,0 µg/m$^3$ na 11,8 µg/m$^3$), okrem Serede (nárast z 11,1 µg/m$^3$ na 12,7 µg/m$^3$); Trenčiansky kraj – nárast koncentrácií na všetkých AMS, najviac v Púchove (z 13,8 µg/m$^3$ na 16,9 µg/m$^3$).

[1] *nový EÚ limit pre počet prekročení PM$_{10}$ (platný od 1. 1. 2030): maximálne 18 dní priemernej dennej koncentrácie PM$_{10}$ > 45 µg/m$^3$ ([11], str. 29)*

### Denný priemer $PM_{10}$ – počet prekročení

Zo všetkých 52 AMS na Slovensku namerali v roku 2024 (podobne v r. 2022) prekročenie maximálneho počtu dní (35 = limit) s priemernou dennou koncentráciou $PM_{10} > 50$ µg/m$^3$ tri stanice: Plášťovce (43 dní; Nitriansky kraj), Jelšava (53 dní; Banskobystrický kraj) a Veľká Ida (46 dní; aglomerácia Košice).

Medziročný vývoj (2023 a 2024) počtu prekročení denného priemeru $PM_{10}$: Nitriansky kraj – nárast na všetkých AMS, najviac v Komárne (z 1 na 11 prekročení) a Plášťovciach (z 34 na 43 prekročení); Trnavský kraj – nárast na všetkých AMS, najviac v Topoľníkoch (z 0 na 7 prekročení); Trenčiansky kraj – nárast na všetkých AMS, najviac v Trenčíne (zo 6 na 15 prekročení).

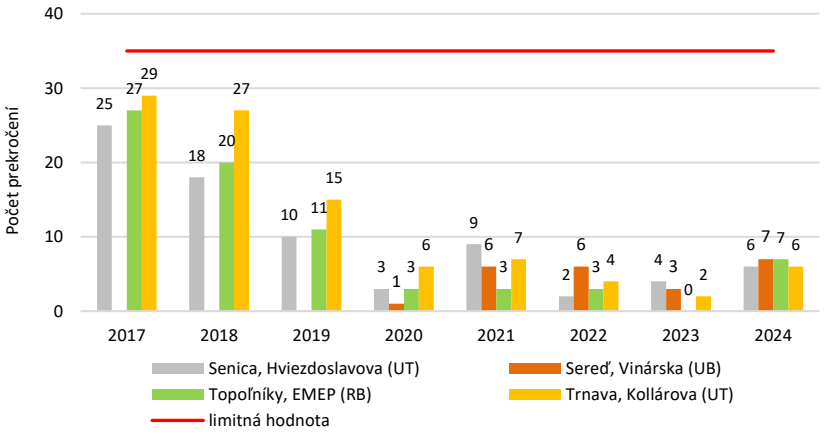
V predošlých rokoch 2017 – 2022 sme, naopak, zaznamenali zlepšujúci trend kvality ovzdušia z hľadiska tohto ukazovateľa vo všetkých troch krajoch. Limit 35 prekročení presiahla dopravná AMS Trenčín v r. 2017 (41 prekročení) a r. 2018 (37 prekročení; v ďalších rokoch v Trenčíne tento počet výrazne klesal). Poznamenajme, že nízke teploty v januári 2017 sa prejavili na prekročení limitnej hodnoty pre priemernú dennú koncentráciu $PM_{10}$ aj v Košickom, Banskobystrickom, Prešovskom a Žilinskom kraji.

### Nové EÚ limity pre ročné priemery PM

Nový EÚ limit pre ročný priemer $PM_{10}$ (20 µg/m$^3$), ktorý schválil Európsky parlament (smernica Európskeho parlamentu a Rady o kvalite okolitého ovzdušia a čistejšom ovzduší v Európe COM/2022/5422[2] prijatá v apríli 2024) a ktorý treba splniť do 1. januára 2030, v roku 2023 nebol v Trnavskom, Nitrianskom a Trenčianskom kraji prekročený s výnimkou dvoch staníc – Plášťovce a Nitra, Štúrova. V roku 2024 ho prekročili okrem týchto dvoch staníc aj Trnava, Trenčín a Púchov. Tieto štyri mestá a oblasť Plášťoviec si preto budú vyžadovať opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia.

Splniť nový EÚ limit pre ročný priemer $PM_{2,5}$ (10 µg/m$^3$) bude ešte náročnejšie, pretože ho vo všetkých troch krajoch v r. 2017 až 2024 prekračujú všetky AMS s výnimkou Handlovej v r. 2023 (Obr. 5, 7, 9).

[2] *https://www.europarl.europa.eu/news/sk/press-room/20240419IPR20587/znecistenie-ovzdusia-parlament-prijal-zakon-prevyssiu-kvalitu-ovzdusia*

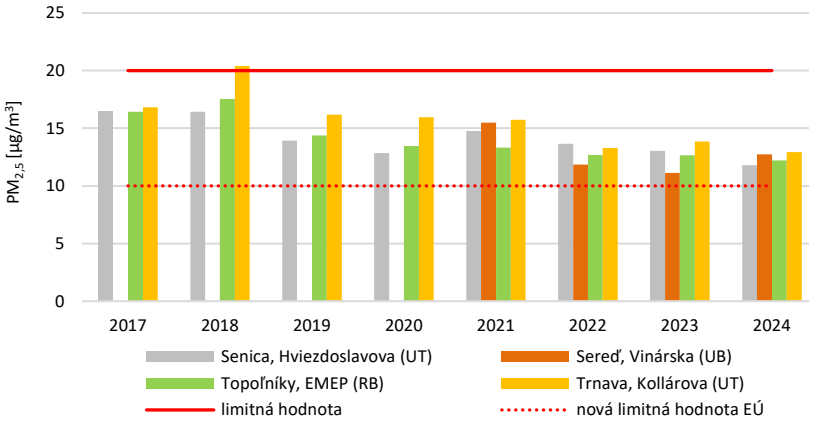



***Obrázok 4.***
***Počet dní s priemernou dennou koncentráciou $PM_{10} > 50$ µg/m$^3$ v Trnavskom kraji v rokoch 2017 – 2024.***

*Figure 4.*
*Number of days with an average daily concentration of $PM_{10} > 50$ µg/m$^3$ in Trnava region in 2017 – 2024.*

*zdroj: SHMÚ*

*Poznámka: UT – mestská dopravná stanica, UB – mestská pozaďová stanica, RB – regionálna (vidiecka) pozaďová stanica*




***Obrázok 5.***
***$PM_{2,5}$ v Trnavskom kraji – ročný priemer (2017 – 2024).***

*Figure 5.*
*$PM_{2.5}$ concentrations in Trnava region – annual average (2017 – 2024).*

*zdroj: SHMÚ*

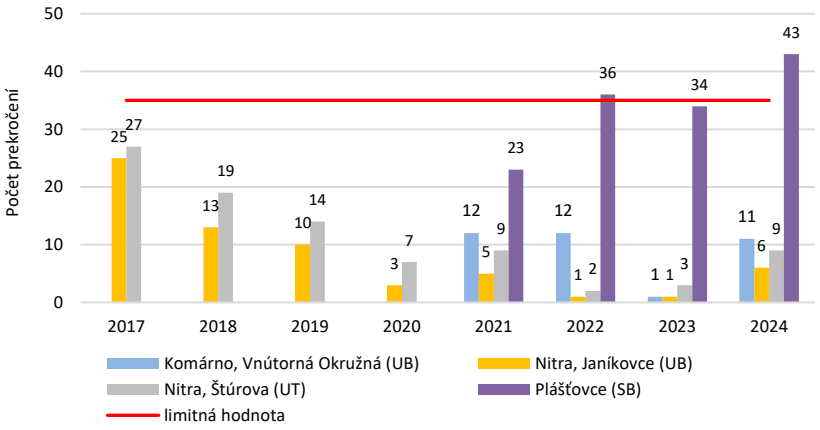
*Poznámka: v Seredi sa v roku 2020 začalo merať koncom roku, výťažnosť dát bola 16 %.*

***Obrázok 6.***
***Počet dní s priemernou dennou koncentráciou $PM_{10} > 50$ µg/m³ v Nitrianskom kraji v rokoch 2017 – 2024.***

*Figure 6.*
*Number of days with an average daily concentration of $PM_{10} > 50$ µg/m³ in Nitra region in 2017 – 2024.*

*zdroj: SHMÚ*

*Poznámka: UT – mestská dopravná stanica, UB – mestská pozaďová stanica, SB – predmestská pozaďová stanica*

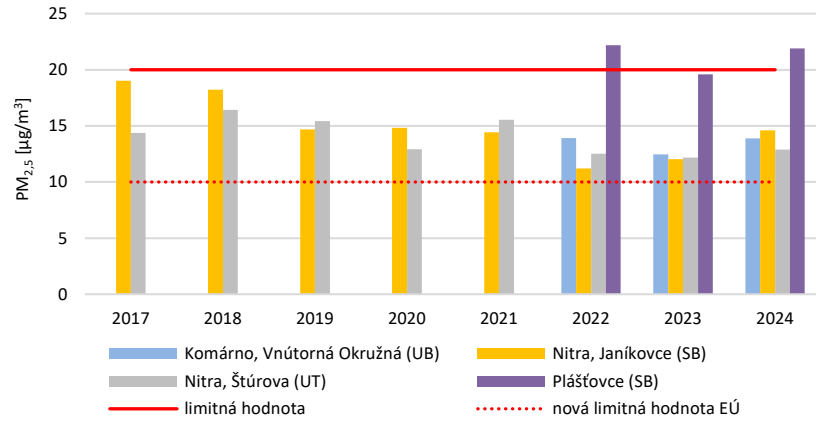



***Obrázok 7.***
***$PM_{2,5}$ v Nitrianskom kraji – ročný priemer (2017 – 2024).***

*Figure 7.*
*$PM_{2.5}$ concentrations in Nitra region – annual average (2017 – 2024).*

*zdroj: SHMÚ*

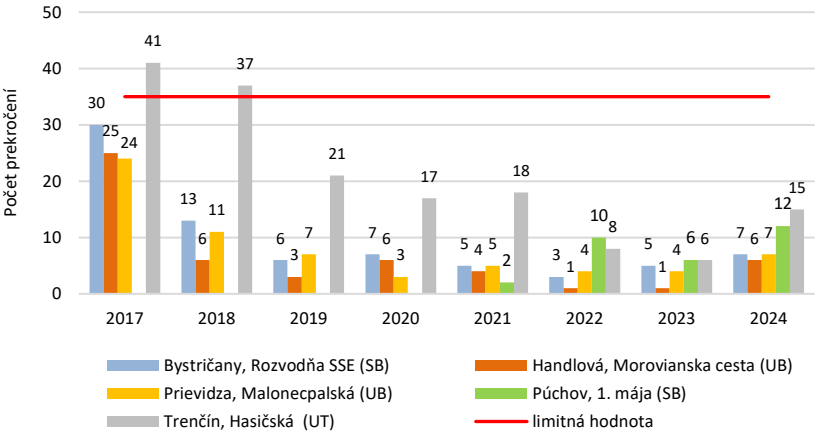
*Poznámka: Nitra, Štúrova mala v roku 2017 iba 85 % platných meraní $PM_{2,5}$. Výpadok bol rozdelený medzi letné mesiace júl – august, ale aj november – december, reálne teda mohol byť celoročný priemer vyšší. Pri porovnaní s $PM_{10}$ však usudzujeme, že limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu $PM_{2,5}$ tu nebola prekročená.*




***Obrázok 8.***
***Počet dní s priemernou dennou koncentráciou $PM_{10} > 50$ µg/m³ v Trenčianskom kraji v rokoch 2017 – 2024.***

*Figure 8.*
*Number of days with an average daily concentration of $PM_{10} > 50$ µg/m³ in Trenčín region in 2017 – 2024.*

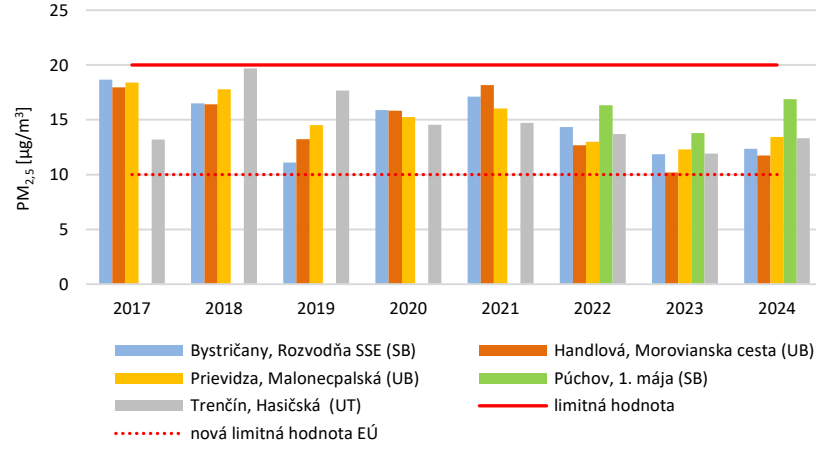
*zdroj: SHMÚ*




***Obrázok 9.***
***$PM_{2,5}$ v Trenčianskom kraji – ročný priemer (2017 – 2024).***

*Figure 9.*
*$PM_{2.5}$ concentrations in Trenčín region – annual average (2017 – 2024).*

*zdroj: SHMÚ*



### Nový EÚ limit pre denný priemer $PM_{2,5}$ – počet prekročení

Uvedená smernica Európskeho parlamentu a Rady o kvalite okolitého ovzdušia a čistejšom ovzduší v Európe (COM/2022/5422) prvýkrát zaviedla na posudzovanie kvality ovzdušia limit pre denný priemer $PM_{2,5}$, platný takisto od 1. januára 2030 – *najviac 18 prekročení priemernej dennej koncentrácie 25 µg/m³*. Situáciu v NUTS-2 regióne Západné Slovensko v roku 2023 vzhľadom na tento novozavedený limit zachytáva Obr. 10.

Tri stanice Trnavského, Nitrianskeho a Trenčianskeho kraja by nový EÚ denný limit pre $PM_{2,5}$ platný od 1. 1. 2030 dodržali už v r. 2023, a to dopravná stanica Nitra, Štúrova a dve mestské pozaďové stanice: Nitra, Janíkovce a Sereď. Ostatné AMS tento limit mierne prekročili, s výnimkou dvoch – AMS Púchov (Trenčiansky kraj) s 35 prekročeniami a takmer trojnásobne viacej zaznamenala stanica v Plášťovciach (81 prekročení, Nitriansky kraj). V roku 2024 by v troch skúmaných krajoch nový EÚ denný limit pre $PM_{2,5}$ splnili len Bystričany ([7], [8], [9]). Vysoké hodnoty počtu prekročení $PM_{2,5}$ v Plášťovciach (81 v r. 2023 a 115 v r. 2024) nás viedli k porovnaniu vývoja koncentrácií nameraných na tejto AMS so stanicami v iných krajoch s podobnou úrovňou znečistenia ovzdušia (Obr. 11).

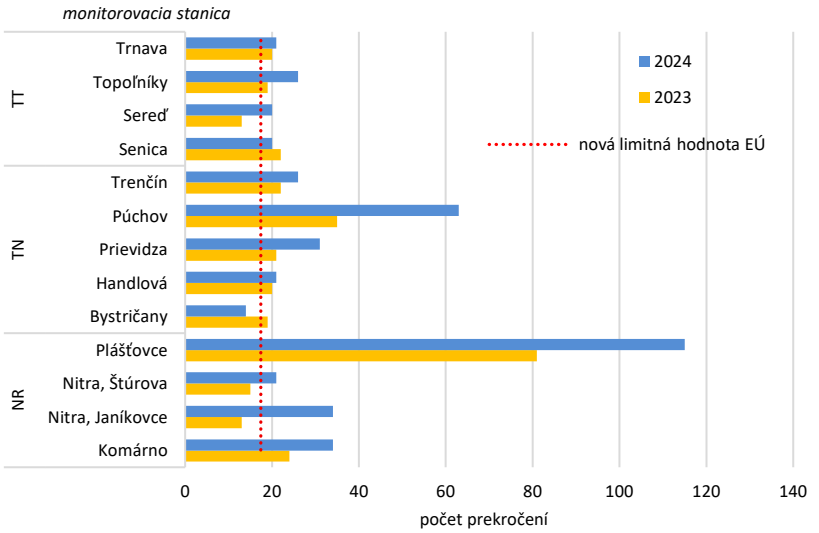
### Odporúčania WHO – rok 2021

Keď hovoríme o nových EÚ limitoch pre kvalitu ovzdušia platných od 1. 1. 2030 je potrebné uviesť, že odporúčania Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) z roku 2021 sú ešte prísnejšie. ([11], str. 29)

## NAJVYŠŠIE KONCENTRÁCIE PM A BAP NA SLOVENSKU

Plášťovce, v juhovýchodnom cípe Nitrianskeho kraja v regióne Hont, s počtom 81, resp. 115 dní s priemernou dennou koncentráciou $PM_{2,5}$ nad 25 µg/m³ v roku 2023, resp. 2024 – *t. j. spolu takmer 3, resp. 4 mesiace v roku, keď sú ľudia vystavení nadmernému znečisteniu ovzdušia týmito časticami* – patria medzi tri monitorovacie stanice na Slovensku, ktoré merajú najvyššie koncentrácie prachových častíc ako aj BaP. Okrem AMS Plášťovce je to mestská pozaďová AMS Jelšava v Banskobystrickom kraji a predmestská priemyselná AMS Veľká Ida pri U. S. Steel Košice, ktorá patrí do aglomerácie Košice.

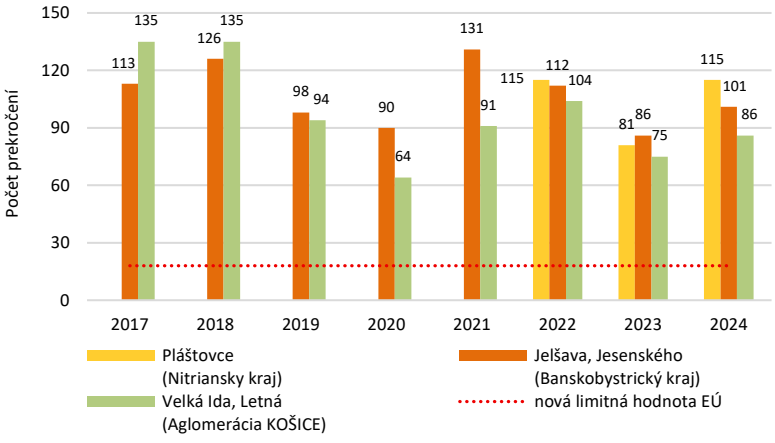
V týchto troch lokalitách je podľa novej európskej legislatívy potrebné do 1. januára 2030 počet prekročení denného priemeru $PM_{2,5}$ nad 25 µg/m³ znížiť 4 až 6-krát – zo 115 (Plášťovce), 101 (Jelšava) a 86 prekročení (Veľká




***Obrázok 10.***
***Počet dní s priemernou dennou koncentráciou $PM_{2,5}$ > 25 µg/m³ na AMS na Západnom Slovensku v r. 2023 a 2024.***

*Figure 10.*
*Number of days with average daily concentration $PM_{2.5}$ > 25 µg/m³ at AMS in Western Slovakia in 2023 and 2024.*

*zdroj: SHMÚ*




***Obrázok 11.***
***AMS s najväčším počtom dní v roku s priemernou dennou koncentráciou $PM_{2,5}$ > 25 µg/m³ na Slovensku v r. 2017 – 2024.***

*Figure 11.*
*AMS with the largest number of days per year with average daily concentration $PM_{2.5}$ > 25 µg/m³ in Slovakia in 2017 – 2024.*

*zdroj: SHMÚ*

Ida) v roku 2024 na 18 prekročení. Je to jedna z veľkých úloh pri vytváraní zdravších podmienok pre život na Slovensku. Obr. 11 zachytáva vývoj $PM_{2,5}$ v r. 2017 – 2024 v Plášťovciach (Nitriansky kraj), Jelšave (Banskobystrický kraj) a Veľkej Ide (aglomerácia Košice) vzhľadom k novozavedenému dennému limitu pre $PM_{2,5}$. Porovnanie týchto troch staníc je možné od roku 2022, keďže stanica v Plášťovciach začala merať až v priebehu roka 2021, za ktorý nemá požadovanú výťažnosť potrebnú pre celoročné hodnotenie. V roku 2022 bolo najviac prekročení v Plášťovciach, nasledujúci rok v Jelšave a v roku 2024 v Plášťovciach.

## BAP

Na rozdiel od PM zostáva pre rok 2030 EÚ limitná (cieľová) hodnota pre BaP nezmenená: 1 ng/m$^3$ (platná je od 31. 12. 2012). Tab. 1 uvádza priemerné ročné koncentrácie BaP merané na staniciach Trnavského, Nitrianskeho a Trenčianskeho kraja a pre porovnanie aj v Bratislave, Jelšave a vo Veľkej Ide. V roku 2023 v týchto troch krajoch cieľovú hodnotu prekročili tri AMS – Plášťovce, Prievidza a Púchov, pričom Plášťovce zhruba 2-krát viac ako zvyšné dve stanice. V roku 2024 cieľovú hodnotu neprekročila Prievidza (0,9 ng/m$^3$), na rozdiel od Púchova (1,4 ng/m$^3$) a pravdepodobne aj Plášťoviec (2,2 ng/m$^3$; hoci tu nebol dosiahnutý požadovaný 90 %-ný podiel platných údajov pre výpadok meraní v decembri, hodnota 2,2 ng/m$^3$ by zrejme ešte narástla, lebo v decembri boli v Plášťovciach v minulých rokoch koncentrácie vysoké). V Nitre a Trnave dosiahol BaP priemernú ročnú úroveň 0,5 ng/m$^3$ a 0,6 ng/m$^3$.

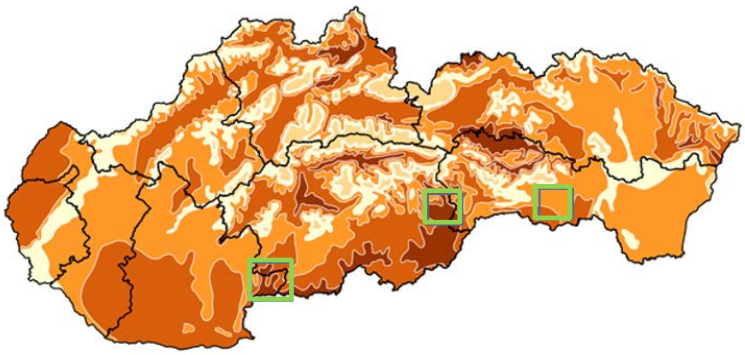
V rámci celého Slovenska najvyššie úrovne znečistenia ovzdušia BaP, podobne ako pre PM, meriame vo Veľkej Ide (v r. 2023 zhruba dvakrát vyššie ako v Plášťovciach), Jelšave a v Plášťovciach.

Na Obr. 12 vidíme zaťaženie územia teplotnými inverziami, ktoré je tým výraznejšie, čím sýtejšia je farba na mape (zdroj dát: Atlas krajiny SR, https://app.sazp.sk/atlassr/). Teplotné inverzie spôsobujú horšie rozptylové podmienky, ktoré významne ovplyvňujú znečistenie ovzdušia.

Porovnanie priemerných mesačných koncentrácií benzo(a)pyrénu na týchto troch lokalitách (Obr. 13) v rokoch 2023 a 2024 poukazuje na silný vplyv vykurovania domácností v Jelšave a Plášťovciach – svedčia o tom vysoké hodnoty v chladnom období roka a nízke hodnoty v teplých mesiacoch. Na predmestskej priemyselnej AMS Veľká Ida (aglomerácia Košice) nie sú v letných mesiacoch hodnoty BaP výrazne nižšie oproti zimnému obdobiu, v júli 2023 dokonca dosahujú úroveň lokálneho maxima z decembra 2023 a v septembri 2024 prevyšujú hodnoty z decembra 2024. Je to dané tým, že dominantným zdrojom znečistenia vo Veľkej Ide je okrem lokálnych kúrenísk neďaleký priemyselný komplex U.S. Steel Košice.

***Obrázok 12. Mapa teplotných inverzií na Slovensku.***
*(zdroj: https://app.sazp.sk/atlassr/)*

*Figure 12. Map of temperature inversions in Slovakia.*



*ľavý štvorec – oblasť Plášťoviec; stredný štvorec – oblasť Jelšavy; pravý štvorec – oblasť Veľkej Idy;*

***Tabuľka 1. Priemerné ročné koncentrácie benzo(a)pyrénu na Západnom Slovensku, v Bratislave, Jelšave a Veľkej Ide: 2017 – 2024.***

*Table 1. Average annual concentrations of benzo(a)pyrene in Western Slovakia, in Bratislava, Jelšava and Veľká Ida: 2017 – 2024.*

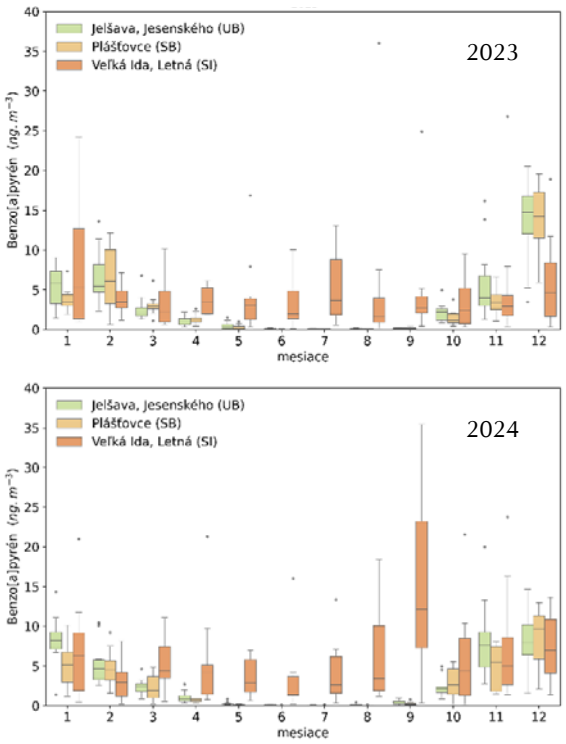
| | Rok | | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AGLOMERÁCIA** | Cieľová hodnota | [ng/m$^3$] | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Zóna | Horná medza na hodnotenie | [ng/m$^3$] | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| | Dolná medza na hodnotenie | [ng/m$^3$] | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| **BRATISLAVA** | Bratislava, Jeséniova | | | | | | 0,3 | 0,3 | | 0,2 |
| | Bratislava, Trnavské Mýto | | | | | | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 |
| | Bratislava, Púchovská | | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| **KOŠICE** | Veľká Ida, Letná | | 4,3 | 5,8 | 4,5 | 4,6 | 6,1 | 5,4 | 4,9 | 6,2 |
| Banskobystrický kraj | Jelšava, Jesenského | | | | 4,0 | 3,0 | 2,8 | 2,7 | 3,4 | 3,5 |
| Nitriansky kraj | Nitra, Štúrova | | | | | 0,6 | 0,8 | | | 0,5 |
| | Plášťovce | | | | | | | | 2,6 | *2,2 |
| Trenčiansky kraj | Prievidza, Malonecpalská | | | | | 1,2 | 1,1 | | 1,1 | 0,9 |
| | Púchov, 1.mája | | | | | | | | 1,2 | 1,4 |
| Trnavský kraj | Trnava, Kollárova | | | | | 0,5 | 0,6 | | 0,5 | 0,6 |

*zdroj: SHMÚ*

*Červenou farbou je vyznačené prekročenie cieľovej hodnoty.*
** Plášťovce – výpadok kvôli technickým problémom počas decembra, 80 % platných meraní*
*Poznámka: v tabuľke sú uvedené len hodnoty s požadovaným počtom meraní min 90 %, s výnimkou Plášťoviec v r. 2024.*

***Obrázok 13. Priemerné mesačné koncentrácie benzo(a)pyrénu v Plášťovciach, Jelšave a Veľkej Ide v roku 2023 a 2024.***

*Figure 13. Average monthly concentrations of benzo(a)pyrene in Plášťovce, Jelšava and Veľká Ida in 2023 and 2024.*




## ZÁVER

NUTS-2 región Západné Slovensko – zahrnujúci Trnavský, Nitriansky a Trenčiansky kraj – ponúka možnosť názorne ilustrovať rozdiely medzi regiónmi z hľadiska kvality ovzdušia s využitím metódy integrovaného posúdenia obcí vypracovanej v SHMÚ [1], ktorá kvantifikuje riziko nepriaznivej kvality ovzdušia pre každú obec v SR. Podľa podielu obyvateľov žijúcich v obciach s jednotlivými rizikovými stupňami **Trnavský kraj** patrí k dvom zónam (spolu so zónou Bratislavský kraj) s najnižším rizikom nepriaznivej kvality ovzdušia na Slovensku. **Nitriansky kraj** je podľa tohto kritéria tretia najlepšia zóna (patrí spolu s Trnavským krajom a zónou Bratislavský kraj do prvej skupiny zón s najnižším rizikom nepriaznivej kvality ovzdušia), napriek tomu v jeho juhovýchodnej časti, v Plášťovciach, meriame vysoké úrovne znečistenia ovzdušia. Obec Plášťovce, ktorá leží severne od Šiah v regióne Hont, sa od začiatku meraní v r. 2021 zaradila spolu s Jelšavou (Banskobystrický kraj) a Veľkou Idou (aglomerácia Košice) pri U. S. Steel Košice k lokalitám, kde monitorujeme najvyššie hodnoty PM a BaP v ovzduší v SR. Plášťovce sa nachádzajú v oblasti s významným využívaním palivového dreva na vykurovanie domácností a zároveň je to región s veľmi vysokou úrovňou zaťaženia ovzdušia teplotnými inverziami (horšími rozptylovými podmienkami). Tie takisto negatívne ovplyvňujú to, čo vdychujeme, pretože udržujú znečisťujúce látky v ovzduší dlhší čas.

**Trenčiansky kraj** patrí k druhej skupine zón (spolu s Prešovským krajom a zónou Košický kraj) so strednou úrovňou rizika nepriaznivej kvality ovzdušia. V rámci tejto skupiny má Trenčiansky kraj najvyšší podiel obyvateľov (43,6 %) žijúcich v obciach s rizikovým stupňom 3 (najvyššia pravdepodobnosť ohrozenia zdravia znečistením ovzdušia). Vyššie riziko zníženej kvality ovzdušia oproti Nitrianskemu a Trnavskému kraju súvisí s tým, že Trenčiansky kraj má zväčša hornatý charakter (ten ovplyvňuje úroveň ventilácie územia a rozptylové podmienky), leží severnejšie (má viacej dní vykurovania v roku, čo je ovplyvnené najmä vyššou nadmorskou výškou) a vo výraznej miere sa v tomto kraji využíva na vykurovanie domácností tuhé palivo.


## Poďakovanie

Za vyhotovenie máp a odborné rady pri vypracovaní článku srdečne ďakujem Katke Pukančíkovej, Janke Matejovičovej a Katke Belohorcovej.


## LITERATÚRA


[1] *Štefánik, D.–Krajčovičová, J., 2023, Metóda integrovaného posúdenia obcí vzhľadom na riziko nepriaznivej kvality ovzdušia, Slovenský hydrometeorologický ústav, 2023, https://www.shmu.sk/sk/?page=996.*

[2] *Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike, 2023, Slovenský hydrometeorologický ústav, 2024. ISSN 2730-0927, https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2023_Sprava_o_KO_v_SR_v1.pdf.*

[3] *https://www.europarl.europa.eu/news/sk/press-room/20240419IPR20587/znecistenie-ovzdusia-parlament-prijal-zakon-pre-vyssiu-kvalitu-ovzdusia.*

[4] *Vyhláška č. 250/2023 Z. z.: https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2023/250/20230701.*

[5] *PRÍLOHY k návrhu smernice Európskeho parlamentu a Rady o kvalite okolitého ovzdušia a čistejšom ovzduší v Európe (prepracované znenie), https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2ae4a0cc-55f8-11ed-92ed-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_2&format=PDF.*

[6] *What are the WHO Air quality guidelines? Improving health by reducing air pollution. 22 September 2021. https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines.*

[7] *Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Nitriansky kraj (Príloha). SHMÚ, Bratislava 2024, https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2023_Priloha_NR_v1.pdf.*

[8] *Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Trenčiansky kraj (Príloha). SHMÚ, Bratislava 2024. https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2023_Priloha_TN_v1.pdf..*

[9] *Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Trnavský kraj (Príloha). SHMÚ, Bratislava 2024. https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2023_Priloha_TT_v1.pdf.*

[10] *Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike 2023. SHMÚ, Bratislava 2024. https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2023_Sprava_o_KO_v_SR_v1.pdf.*

[11] *Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike, 2024, Slovenský hydrometeorologický ústav, 2025. ISSN 2730-0927. https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2024/Sprava%20o%20KO_2024_all_low.pdf.*

[12] *Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Trnavský kraj (Príloha). SHMÚ, Bratislava 2025. https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2024/2024_Priloha_TT_v_fin.pdf.*

[13] *Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Nitriansky kraj (Príloha). SHMÚ, Bratislava 2025, https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2024/2024_Priloha_NR_v4_fin_v_2.pdf.*

[14] *Hodnotenie kvality ovzdušia v zóne Trenčiansky kraj (Príloha). SHMÚ, Bratislava 2025. https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2024/2024_Priloha_TN_v_fin_v2.pdf.*

# INFORMÁCIE
# INFORMATION

## PROJEKT CAMS NATIONAL COLLABORATION PROGRAMME – SLOVAKIA (CAMS NCP)

Projekt CAMS NCP je vedecko-osvetový projekt v oblasti modelovania a monitorovania kvality ovzdušia. Je financovaný programom COPERNICUS a je zameraný na propagáciu a širšie využívanie širokej škály produktov služby CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) v jednotlivých krajinách EÚ. Aktuálne je už do projektu zapojených 21 z 27 krajín EÚ a ďalšie sú v prípravnej fáze. Na SHMÚ je projekt riešený hlavne v rámci úlohy 4103 - Vývoj a aplikácia modelov pre hodnotenie kvality ovzdušia.

Služba CAMS je prevádzkovaná Európskym centrom pre strednodobé predpovede počasia - ECMWF. Medzi najvýznamnejšie produkty patria strednodobé predpovede počasia, ktoré sú veľmi dobre známe aj na Slovensku - tzv. EPSgramy ansámblových predpovedí na 10 dní, sú obľúbeným a navštevovaným produktom na webstránke SHMÚ. Ďalšou významnou súčasťou CAMS sú predpovede kvality ovzdušia. Napriek množstvu produktov založených na výstupoch predpovedných modelov kvality ovzdušia dostupných na stránkach atmosphere.copernicus.eu ich potenciál zatiaľ nebol v jednotlivých krajinách dostatočne využitý. CAMS NCP má za cieľ zvýšiť povedomie o týchto produktoch a ich široké praktické uplatnenie v rôznych oblastiach využívania.

Produkčné modely CAMS poskytujú predpovede a reanalýzy znečisťujúcich látok. Globálny model atmosféry je spúšťaný raz denne a produkuje predpovede znečisťujúcich látok, aerosólov a skleníkových plynov na celom svete na 96 hodín. Jeho súčasťou je tiež asimilácia dát zo satelitov a meracích staníc. Predpovede z globálneho modelu vstupujú vo forme okrajových podmienok do regionálnych modelov. Regionálne modely pokrývajú celé územie Európy s vyšším rozlíšením (0,1° krát 0,1°). V súčasnosti sa používa súbor 11 rôznych modelov, prevádzkovaných rôznymi krajinami EÚ.

Projekt CAMS NCP – Slovakia sa začal realizovať v júni 2024, ukončenie je plánované na november 2025. V rámci projektu sme zatiaľ zrealizovali nasledujúce úlohy:

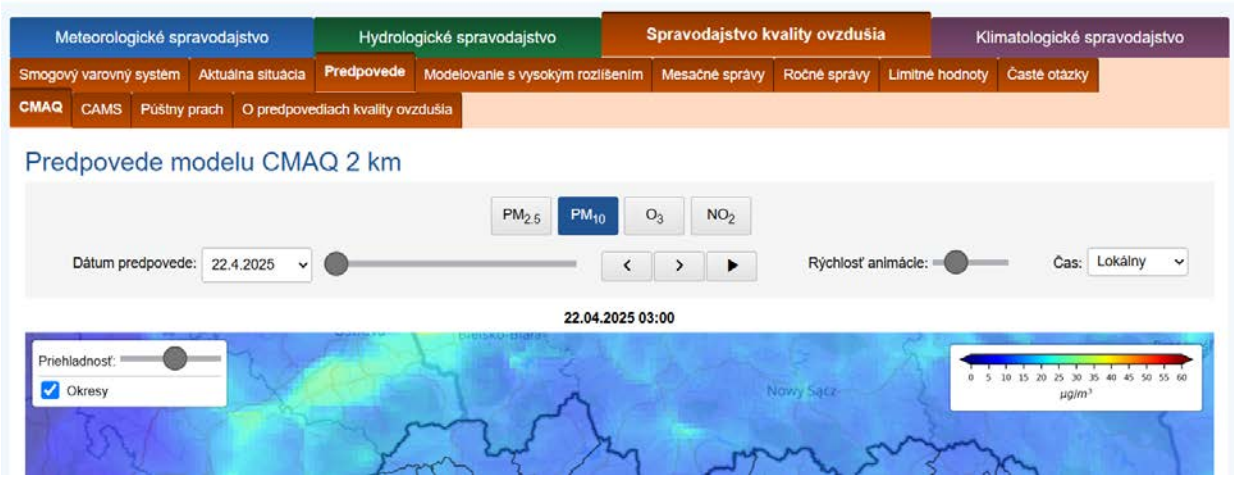
***Použitie predpovedí kvality ovzdušia CAMS EUROPE a CAMS GLOBAL na tvorbu okrajových podmienok pre 2 km regionálny model CMAQ***

Model CMAQ (Byun a Schere, 2006) s horizontálnym rozlíšením 2 km sa spúšťa raz denne o 00 UTC, rozsah predpovede je zatiaľ 48 hodín. Ako vstupné meteorologické dáta používa predpovede modelu Aladin s rovnakým horizontálnym rozlíšením. Okrajové podmienky pre CO, $O_3$, $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NH_3$, $NO_x$ a $SO_2$ pochádzajú z modelu CAMS Europe, $O_3$ pre vyššie hladiny z globálneho modelu CAMS.

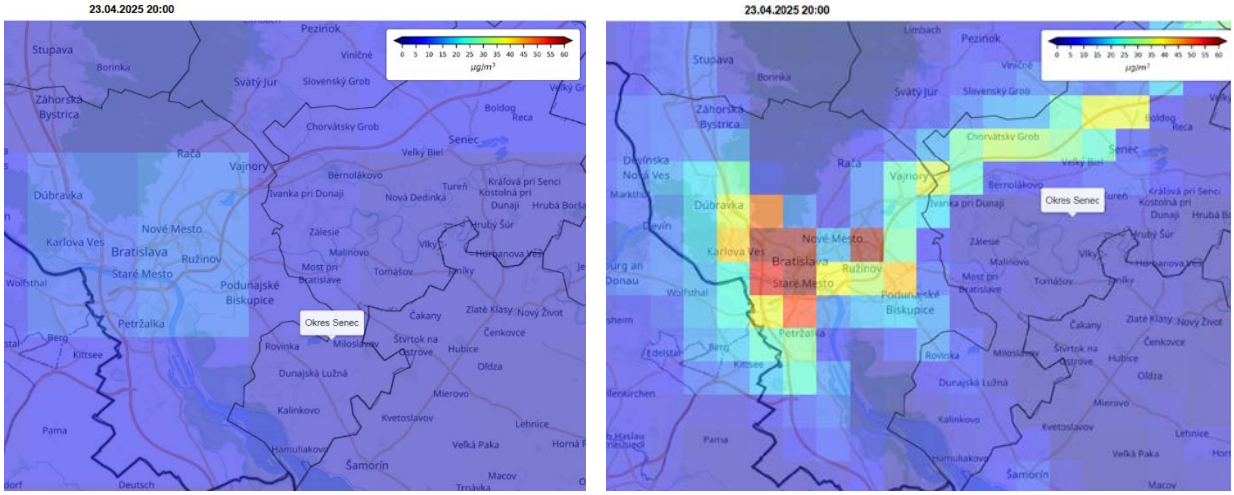
***Zobrazenie interaktívnych máp predpovedí kvality ovzdušia pre modely CAMS EUROPE a CMAQ na webovej stránke SHMÚ***

Predpovede CAMS aj CMAQ sú dostupné na webstránke SHMÚ v sekcii Spravodajstvo kvality ovzdušia/Predpovede (Obr. 1). V tejto sekcii sa tiež nachádzajú predpovede púšt-neho prachu z modelu CAMS a informácie o predpovediach kvality ovzdušia. Oba modely majú svoje prednosti a je dobré mať k dispozícii obe predpovede. Model CAMS zobrazuje medián predpovedí celého ansámblu 11 modelov, teoreticky by mal teda dávať najpravdepodobnejšiu predpoveď. Jeho horizontálne rozlíšenie je však cca 10 km (keďže ide o sférický systém súradníc, jednotlivé bunky modelu nie sú štvorce), oproti modelu CMAQ, ktorý má rozlíšenie 2 km. Okrem toho má CMAQ aj presnejšie meteorologické dáta a oveľa presnejšie emisné dáta pre Slovensko. Vyššie priestorové rozlíšenie dokáže zachytiť už aj užšie horské doliny, čo je v prípade hornatého slovenského terénu dosť dôležité. Treba si uvedomiť, že koncentrácie predpovedané modelom vyjadrujú priemernú hodnotu v každej bunke modelu, pričom emisie sú v realite rozložené v bunkách veľmi nerovnomerne (napr. v blízkosti ciest). Model s nízkym rozlíšením tak nedokáže zachytiť lokálne maximá na obmedzenej ploche. Na Obr. 2 je ilustrovaný prípad, kedy CAMS nedokáže zachytiť maximá koncentrácií $NO_2$ v blízkosti ciest.

*Obrázok 1. Webstránka SHMÚ s predpoveďami kvality ovzdušia.*




*Obrázok 2. Porovnanie priestorového rozlíšenia modelu CAMS (vľavo) a CMAQ (vpravo). Predpoveď priemerných hodinových koncentrácií $NO_2$ z polnoci 23. 4. 2024 na večer toho istého dňa.*




***Použite produktov CAMS na odčítanie príspevkov prírodných zdrojov z celkových nameraných koncentrácií $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$ na účely reportovania***

Slovensko, ako jedna z krajín EÚ, musí na základe Smernice 2024/2881 reportovať namerané údaje o kvalite ovzdušia a prekročenia stanovených limitných hodnôt. V prípade $PM_{10}$, ktorých zdroj môže byť okrem antropogénnych činností často aj prírodného pôvodu, je možné túto prírodnú časť (ktorej emisie krajina nemôže ovplyvniť) odpočítať od celkovej koncentrácie, a tak eliminovať prípady prekročení limitných hodnôt, napríklad pri epizódach saharského prachu. Počas projektu sme v prípadovej štúdii analyzovali niekoľko metód odčítania saharského prachu s využitím produktov modelu CAMS. Jedna zo základných metód už bola použitá aj v rámci reportingu za rok 2023.

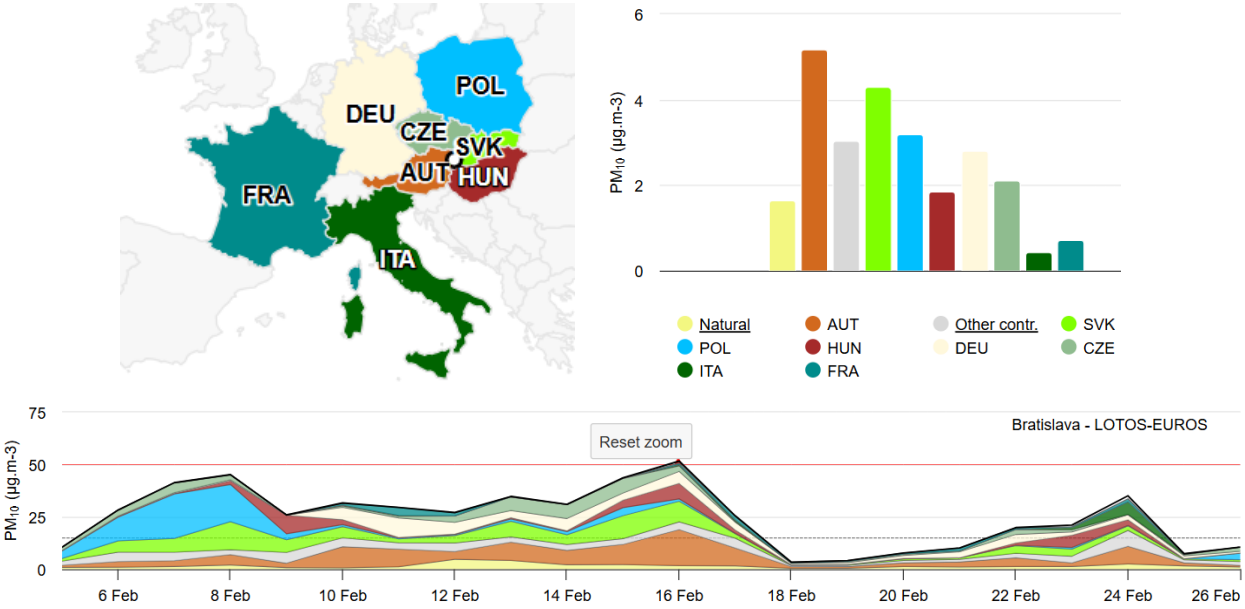
***Zvýšenie povedomia o produktoch CAMS na národnej úrovni pre širokú verejnosť, ale aj pre odborníkov v oblasti kvality ovzdušia***

V rámci tejto aktivity sme okrem informácií o produktoch CAMS na webstránke SHMÚ pripravili prezentáciu a poster na konferenciu Ochrana ovzdušia 2024, ktorá sa každoročne koná na Štrbskom Plese. Prezentácia tohto informačného článku je tiež formou rozširovania informácií o produktoch (viac o tom, aké produkty existujú a ako sa k ním dostať, je uvedené v záverečnej časti tohto článku). Okrem toho je na záver projektu naplánovaný informačný workshop o možnostiach využívania dát CAMS pre záujemcov z radov odbornej aj laickej verejnosti.

***Porovnanie výsledkov určenia zdrojov znečistenia pomocou modelu CAMS a regionálneho modelu CMAQ pre vybrané obdobia zvýšených koncentrácií $PM_{10}$. Použitie produktov CAMS na určenie príčiny vzniku vysokých koncentrácií ozónu v epizódach***

Regionálne chemicko-transportné modely, akými sú CAMS a CMAQ, možno tiež spúšťať v režime, výstupom ktorého sú priemerné koncentrácie v určitej vymedzenej oblasti (napr. Bratislava), rozdelené na príspevky od jednotlivých emisných sektorov - napr. cestná doprava, lokálne vykurovanie, priemyselné zdroje, poľnohospodárstvo, alebo na príspevky prenosu znečistenia z okolitých krajín. CAMS poskytuje takéto informácie na území Slovenska iba pre Bratislavu. V rámci projektu sme spustili v režime určenia

***Obrázok 3. Príklad príspevkov jednotlivých krajín ku koncentráciám $PM_{10}$ v Bratislave počas epizódy vysokých koncentrácií vo februári 2023 (model LOTOS-EUROS).***




príspevkov zdrojov tiež model CMAQ a lokálny puff model CALPUFF (Scire a kol., 2000) s veľmi vysokým priestorovým rozlíšením. CAMS poskytuje produkty určenia zdrojov z troch modelov ansámblu: EMEP, CHIMERE a LOTOS-EUROS. Príklad príspevkov jednotlivých krajín je na Obr. 3. Podobné výstupy možno nájsť pre jednotlivé emisné sektory, a to pre vybrané mestá pre zvolené časové obdobia, alebo aj pre predpovede.

Problémom CAMS produktov určenia zdrojov je, že sú dostupné iba pre Bratislavu, a že „lokálna" doména je veľmi rozsiahla (siaha až takmer po Viedeň). Jednotlivé emisné sektory medzi modelmi nie sú úplne kompatibilné, a tak je porovnanie medzi nimi často dosť problematické, popis metód a jednotlivých sektorov tiež nie je najdetailnejší. Je isté, že tieto produkty sú zaťažené dosť veľkou neurčitosťou a potrebujú v budúcnosti ďalší vývoj za účelom spresnenia. Podobné výstupy z modelu CMAQ sú z nášho pohľadu transparentnejšie, a vzhľadom na kvalitnejšie emisné dáta aj presnejšie. Nevýhodou je, že kvôli podstatne menšej výpočtovej doméne nie je možné odlíšiť príspevky zo vzdialenejších krajín. Z pohľadu praktického využitia dát to však nemá veľký význam. Z pohľadu realizácie opatrení na zníženie koncentrácií v hotspotoch je najviac využiteľný lokálny model s vysokým rozlíšením, v našom prípade CALPUFF.

## Ďalšie, zatiaľ nezrealizované aktivity projektu

V ostávajúcom období do ukončenia projektu ešte plánujeme tieto aktivity:

- Použitie predpovedí alebo analýz CAMS EUROPE ako vstupov do interpolačno-regresného modelu RIO (Janssen a kol., 2008): Ide o postprocesing výstupov CAMS pomocou priestorového spresnenia predpovedí a analýz na základe tzv. driverov - dátových polí, ktoré nesú určitú informáciu o rozložení koncentrácií vo vnútri buniek modelu CAMS. Ide napr. o mapy intenzít dopravy, lokálnych kúrenísk a pod. Takýmto spôsobom môžeme dosiahnuť priestorové spresnenie predpovedí až do rozlíšenia 1 km.
- Porovnanie výsledkov predpovedí modelov CAMS EUROPE a CMAQ na základe validácie s nameranými údajmi v národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia (NMSKO) pre vybrané časové obdobia a epizódy.
- Analýza možností využitia predpovedí peľov pre alergikov.
- Zobrazovanie EPSgramov pre predpovede koncentrácií znečisťujúcich látok v miestach monitorovacích staníc kvality ovzdušia na webstránke SHMÚ.

## Praktický sprievodca pri hľadaní produktov CAMS

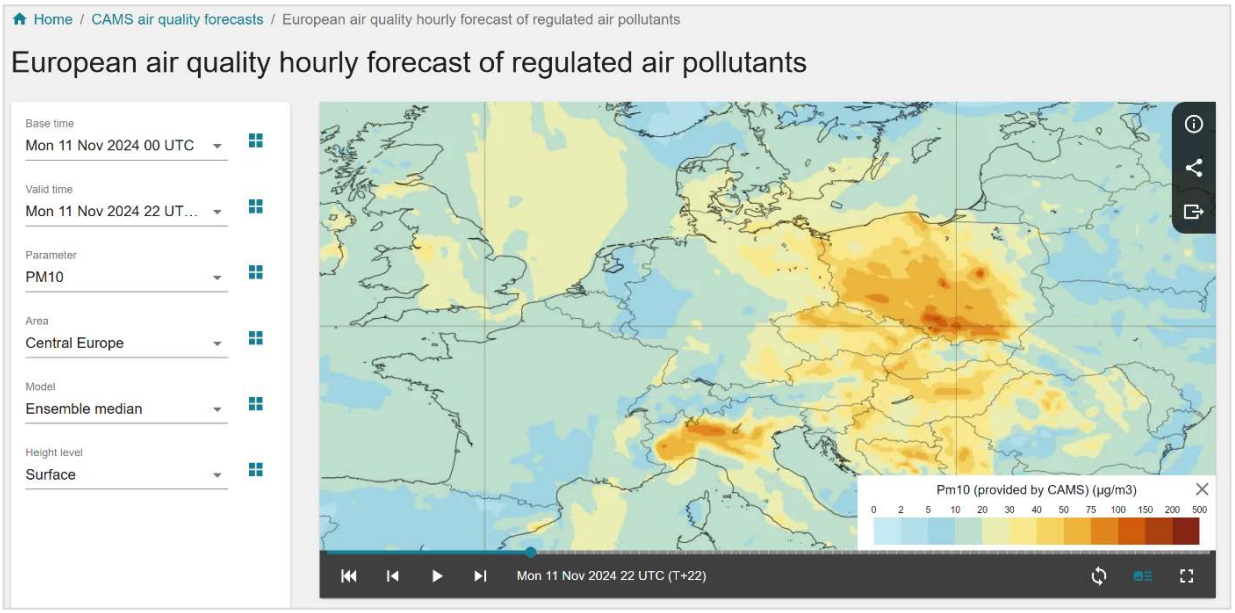
Vzhľadom na rozsiahly záber CAMS služieb je niekedy problematické nielen vyhľadať konkrétne produkty, ale vôbec zistiť, aké obrovské množstvo ich existuje. Problémom je, že neexistuje jedna centrálna webstránka, z ktorej by sa dalo dostať ku všetkým produktom. V nasledujúcom texte preto uvádzame niekoľko užitočných odkazov.

Pre prístup k samotným dátam, pre prípadné ďalšie spracovanie alebo vlastné zobrazovanie a k nástrojom na ich sťahovanie, je dôležitá stránka Atmosphere Data Store *https://ads.atmosphere.copernicus.eu/*.

Pre prístup k predpovedným produktom v mapovej forme pre Európu je dobrým odrazovým mostíkom stránka *https://atmosphere.copernicus.eu/european-air-quality-forecast-plots*. Nachádzajú sa tu:

- predpovede základných aj niektorých ďalších znečisťujúcich látok,
- predpovede peľov,
- predpovede niektorých zaujímavých zložiek aerosólov, ako napr. púštneho prachu, $PM_{10}$ z lesných požiarov, a pod.

***Obrázok 4. Ukážka zobrazenia predpovede $PM_{10}$ pre strednú Európu. Na paneli vľavo si môžeme zvoliť parametre zobrazenia. Kliknutím na konkrétne miesto na mape sa zobrazí EPSgram (Obr. 5).***




Tieto predpovede sa produkujú každý deň a ich rozsah je od polnoci na nasledujúcich 96 hodín pre medián ansámblu alebo pre každý z modelov ansámblu zvlášť. Okrem predpovedí v blízkosti zemského povrchu je možné zobraziť predpovede v ďalších 4 hladinách (100 m, 1000 m, 3000 m, 5000 m). Možno si tiež zobraziť iba určitú oblasť, napr. Strednú Európu. Kliknutím na konkrétne miesto na mape sa zobrazí príslušný EPSgram, ktorý zobrazuje graf predpovede pre dané miesto aj s rozptylom ansámblu modelov. Príklad zobrazenia mapy a EPSgramu je na Obr. 4 a 5.

K predpovedným mapám sa dá dostať aj cez portál *atmosphere.copernicus.eu/charts/*. Tento portál obsahuje tiež linky na veľké množstvo ďalších grafických informácií. Pre nás je zaujímavý link na CAMS Air Quality Forecasts *https://atmosphere.copernicus.eu/charts/packages/cams air quality/*, kde sa okrem už vyššie popísaných predpovedí dostaneme aj k agregovaným priemerným denným hodnotám koncentrácií, čo je zaujímavé najmä pre $PM_{10}$, z pohľadu prekročení priemernej dennej koncentrácie.

Ďalšou zaujímavou skupinou produktov sú tzv. Policy tools *https://policy.atmosphere.copernicus.eu/*, ktoré obsahujú grafické produkty súvisiace hlavne s určením zdrojov aktuálnych alebo predpovedaných koncentrácií, napríklad:

- predpovede koncentrácií hlavných znečisťujúcich látok pre európske mestá, aj s určením lokálneho a cezhraničného príspevku,
- predpovede koncentrácií hlavných znečisťujúcich látok podľa hlavných skupín zdrojov (priemysel, prírodné emisie, rezidenčné vykurovanie, poľnohospodárstvo, doprava ... ),
- predpovede zloženia aerosólov,
- validačné štatistiky predpovedí voči nameraným dátam,
- rôzne hodnotiace správy o kvalite ovzdušia.

## Literatúra


*Byun, D.–Schere, K., 2006, Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the Model-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. Appl. Mech. Rev. 59 (2), 51 – 77. https://doi.org/10.1115/1.2128636.*

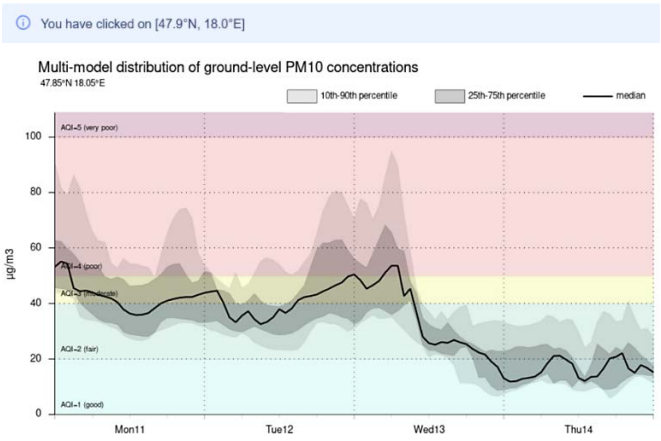
*Scire, J.S.–Strimaitis, D.G.–Yamartino, R.J., 2000, A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model, Earth Tech, Inc. Concord, MA.*

*Janssen, S.–Dumont, G.–Fierens, F.–Mensink, C., 2008, Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data, Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 20, 4884 – 4903, ISSN 1352-2310. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.043.*



*Jana Krajčovičová, Dušan Štefánik*
*SHMÚ, Bratislava*


***Obrázok 5. EPS gram pre zvolené miesto na mape. Šedou farbou je zobrazený rozptyl predpovedí jednotlivých modelov okolo mediánu ansámblu (čierna čiara). Tento rozptyl vyjadruje mieru neurčitosti predpovedí v danom čase a mieste.***



## 28. ROČNÍK STRETNUTIA SNEHÁROV

V druhej polovici marca, v termíne od 18. do 20. marca 2025, sa konal 28. ročník stretnutia snehárov. Organizáciu a prípravy tento rok zabezpečil Slovenský hydrometeorologický ústav, konkrétne Regionálne pracovisko Banská Bystrica. Miestom stretnutia bola horská chata Javorina nachádzajúca sa v nadmorskej výške 1410 m, v tesnej blízkosti hlavného hrebeňa Martinských hôľ v Lúčanskej časti Malej Fatry.

Na podujatí sa stretlo dvadsaťštyri účastníkov pochádzajúcich z rôznych inštitúcií z Českej republiky a Slovenska – v zložení mnohých hydrológov, klimatológov, ale aj vedeckých a pedagogických pracovníkov. S cieľom vzájomnej informovanosti a výmeny aktuálnych poznatkov sa snehárske stretnutia konajú pravidelne od roku 1996. Spoločným bodom záujmu je najmä úzka problematika hydrológie snehu.

Počas trojdňového podujatia sa uskutočnili dva bloky prezentácií s následnou diskusiou, pričom dohromady odznelo jedenásť príspevkov. Prvý blok bol v úvodný deň vo večerných hodinách. Po úvodnom slove Tomáša Trstenského, ako hlavného organizátora tohtoročného stretnutia snehárov, ktorý okrem oboznámenia sa s programom stretnutia predstavil tiež stručnú históriu rekreačného strediska Martinské hole, nasledoval prvý blok prezentácií. Zaujímavé boli príspevky o údajoch o snehu z automatických staníc, priebehu zimnej sezóny 2024/2025 z pohľadu množstva snehu na Šumave ako aj zime – nezime v povodí horného Hrona a histórii, súčasnosti a budúcnosti lyžovania v Banskobystrickom kraji.

Druhý deň dopoludnia sa uskutočnila exkurzia na meteorologickej stanici Horskej záchrannej služby Martinské hole a takisto sa spravilo porovnávacie meranie snehu na Martinských holiach. Poobedný čas bol vyhradený na spoznávanie okolia chaty na poslednom marcovom snehu. V podvečerných hodinách nasledoval druhý blok, v rámci ktorého odzneli príspevky ohľadom nových trendov v odbore merania snehu na ČHMÚ, predpovede vybraných situácií s využitím modelov s vysokým rozlíšením, otázka homogenizácie dát, ako aj problémy a využitie vypočítaných hodnôt snehu. Veľmi zaujímavá bola prezentácia rekonštrukcie snehovo-lavínových charakteristík v Trangošskej doline na prelome februára a marca roku 1935.

Väčšinová časť príspevkov sa venovala zhodnoteniu pomerov v končiacej sa zimnej sezóne (v rámci jednotlivých pracovísk na území ČR a SR), aktuálnym poznatkom a novinkám v dotknutej problematike (zber údajov, modelovanie, interpretácia meraní).

Tohtoročné stretnutie snehárov sa uskutočnilo na veľmi jedinečnom mieste, takmer priamo na hrebeni Martinských hôľ. Bezprostredná blízkosť snehovej pokrývky (v uplynulej zimnej sezóne vzácny jav) prispela k podnetnejšej diskusii ako aj výmene informácií a skúseností účastníkov pri priamom terénnom meraní snehu. Zároveň vznikla dohoda, že nasledujúce stretnutie sa uskutoční o rok, tentokrát na šumavskej Kvilde v Čechách.

*Katarína Slivková*
*SHMÚ, Banská Bystrica*



## STRETNUTIE ČLENOV SLOVENSKEJ A MAĎARSKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI V MÁJI 2025 V HURBANOVE



V pondelok 5. mája 2025 sa v Hurbanove uskutočnilo stretnutie členov Slovenskej a Maďarskej meteorologickej spoločnosti pri príležitosti 100. výročia založenia Maďarskej meteorologickej spoločnosti a 67. výročia založenia Československej meteorologickej spoločnosti – predchodkyne Slovenskej meteorologickej spoločnosti. Stretnutie sa konalo na pôde Slovenskej ústrednej hvezdárne a Geomagnetického observatória Hurbanovo, ktorého súčasťou je aj meteorologická stanica SHMÚ. Maďarskí kolegovia prišli do Hurbanova po 4-dňovom putovaní (peši, na bicykloch) z Budapešti, aby si tam symbolicky pripomenuli storočnicu ich spoločnosti cca 100-kilometrovou vzdialenosťou Budapešti a Hurbanova.

Po úvodnom slove predsedníčky Slovenskej meteorologickej spoločnosti RNDr. Paulíny Valovej prebehli 4 krátke prezentácie (dve za slovenskú stranu a dve za maďarskú stranu), po ktorých pokračovali exkurzie v jednotlivých inštitúciách. V rámci Slovenskej ústrednej hvezdárne si účastníci pozreli planetárium a historickú budovu hvezdárne v Hurbanove, ktorú založil Mikuláš Konkoly Thege.



Na meteorologickej stanici Slovenského hydrometeorologického ústavu v Hurbanove si návštevníci prezreli priestory SHMÚ aj s historickými časťami, historickú pozorovaciu vežu na streche budovy a meteorologickú záhradku. Meteorologická stanica v Hurbanove patrí medzi naše najstaršie stanice so súvislým radom meraní od r. 1872. Na pozemku observatória sa nachádza tiež najstarší seizmograf na Slovensku, ktorý meria už viac ako 100 rokov.

Spoločné stretnutie sme zavŕšili spoločným obedom. Celkovo sa na podujatí zúčastnilo 41 ľudí.

Chcem v mene SMS poďakovať za spoluorganizáciu podujatia Dr. Mónike Lakatos, predsedníčke Maďarskej meteorologickej spoločnosti, Mgr. Mariánovi Vidovencovi, riaditeľovi Slovenskej ústrednej hvezdárne (za poskytnutie priestorov) a p. Ľubomírovi Babinovi, vedúcemu meteorologickej stanice Hurbanovo, ako aj zamestnancom Geofyzikálneho ústav SAV za ich ochotu a pomoc pri realizácii podujatia.

*Paulína Valová, SHMÚ, Bratislava*



# PERSONÁLIE
# PERSONALS

## K 90-TINÁM Ing. MILANA KUPČA, CSc.

Dňa 29. 4. 2025 oslávil jubilant v dobrom telesnom i duševnom zdraví svoje 90-te narodeniny. K Milanovi Kupčovi ma viažu tri spomienky.

Prvá je z leta roku 1975, po mojom nástupe do zamestnania na pobočku SHMÚ v Košiciach. Jedného rána som zazrel pred budovou pobočky nižšieho, no pevne stavaného muža, ako ostrí kosu a chystá sa pokosiť trávu na okolitom pozemku. Len on sám by vedel povedať, koľko lúčok obkosil vo Važeckom chotári. V tejto rázovitej obci sa náš jubilant narodil do rodiny roľníka dňa 29. 4. 1935. Robota na poli a okolo gazdovstva ho naučila poctivému a dôslednému prístupu k práci. To sa prejavilo v jeho študentských rokoch, no aj v ďalšom profesnom živote. Gymnázium absolvoval v Liptovskom Mikuláši v roku 1953. Vysokoškolské štúdium ukončil v roku 1958 na Fakulte stavebného a zememeračského inžinierstva na STU v Bratislave, a to v špecializácii hydromeliorácie. Jeho prvým zamestnávateľom bol Krajský podnik poľnohospodárskych meliorácií (neskôr Poľnohospodárske stavby). V ňom pracoval sprvoti v Prešove, neskôr v Košiciach. Spočiatku zastával pozíciu stavbyvedúceho, neskôr až do roku 1967 pracoval ako hlavný inžinier závodu. Krátko pôsobil v Projekčnom ústave, kde sa vo funkcii hlavného projektanta zaoberal projektovaním odvodňovania Východoslovenskej nížiny. Neskôr využil ponuku z Hydrometeorologického ústavu a nastúpil na jeho stredisko v Košiciach. Od roku 1968 do 1996 tu pracoval ako vedúci oddelenia povrchových vôd, vykonával posudkovú a expertíznu činnosť ako aj merania prietokov v teréne.

Druhá moja spomienka sa viaže na jeho hydrologickú prax. Vždy po skončení hydrologického roka technici povrchových vôd uzatvárali bilancie prietokov pre svoje povodia a chodili ich odsúhlasovať k svojmu vedúcemu, Ing. Kupčovi. Vídal som ich nervóznych, ako pred maturitou. A veru, ak niečo nesedelo, vracali sa ku svojim podkladom urobiť nápravu. Jubilant sa aktívne venoval aj odbornej a publikačnej činnosti. Spolu s českými kolegami bol spoluautorom knižnej publikácie o meraní prietokov, ktorá sa stala komplexnou pomôckou pre pracovníkov v oblasti povrchových vôd. Ďalšou širšou témou, ktorej sa venoval, bolo štatistické spracovanie maximálnych prietokov, z ktorej získal aj vedeckú hodnosť kandidáta vied v roku 1982. Maximálne prietoky ho priviedli k ich príčinných javom, konkrétne k intenzívnym zrážkam. Pre obidve extrémne meteorologické, resp. hydrologické javy uplatnil regionálny prístup. Aj po odchode do dôchodku v roku 1996 sa naďalej zaoberal problematikou štatistického vyhodnotenia intenzít zrážok.

Tretia spomienka na jubilanta sa viaže práve na túto jeho aktivitu. Pred niekoľkými rokmi mi zavolal, že by chcel overiť svoje výsledky v spracovaní intenzít zrážok na novších údajoch. A tak sa začala naša spolupráca v oblasti regionálnej frekvenčnej analýzy extrémnych zrážkových úhrnov. Postupne sa spojil aj s ďalšími mladšími kolegami, ktorých inšpiroval v uplatnení princípu ergodičnosti v spomínanej frekvenčnej analýze. Jeho snaha bola zúročená, keď spoločné výsledky publikoval so svojimi spolupracovníkmi v roku 2022. Pri našich konzultáciách i osobných stretnutiach som obdivoval Milanovu telesnú aj duševnú sviežosť a tiež profesnú cieľavedomosť.

Jubilantovi prajeme do ďalších rokov dobré zdravie a pohodu.

*Pavel Šťastný*
*SHMÚ, Bratislava*

## POKYNY PRE AUTOROV

Meteorologický časopis akceptuje príspevky napísané v anglickom, slovenskom a českom jazyku. Príspevky napísané v slovenskom a českom jazyku musia byť zaslané spolu s anglickou verziou názvu, abstraktu a anglických popisiek k obrázkom a tabuľkám. Autori môžu zaslať svoj príspevok priamo šéfredaktorovi časopisu na adresu jaroslava.slavkova@shmu.sk alebo zástupcovi šéfredaktora na adresu maros.turna@shmu.sk. Meteorologický časopis neposkytuje autorom službu jazykovej korekcie. Odporúčame všetkým autorom publikujúcim v anglickom jazyku, aby si nechali skontrolovať príspevok rodeným hovorcom. Zaslané príspevky nesmú byť už publikované iným vydavateľom a ani nesmú byť v recenznom konaní v inom časopise. Obrázky musia byť očíslované tak ako vystupujú v texte. Obrázky musia byť zaslané v jednom z nasledovných grafických formátov: TIFF, JPEG alebo EPS. Minimálne požadované rozlíšenie obrázkov je 500 dpi. Tabuľky musia byť v editovateľnej forme.

---

## AUTHOR'S INSTRUCTIONS

Manuscripts must be written either in English (American or British usage is accepted, but not a mixture of both), Slovak and Czech. Manuscripts written in the Slovak and Czech languages must have the title, abstract and figure/table captures written also in English. Authors are requested to send their manuscripts to the Editor-in-Chief (jaroslava.slavkova@shmu.sk) or Associate Editor (maros.turna@shmu.sk). The journal does not provide language correction services. All manuscripts written in English should be checked by a native speaker prior to submission. Submitted manuscripts should not have been published previously elsewhere nor be under consideration for publication elsewhere. Illustrations must be numbered according to their sequence in the text. Electronic artwork (images) must be submitted in one of the following formats: TIFF, JPEG, or EPS, with a minimal resolution of 500 dpi. Tables must be submitted as editable text.

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 2025
EV 340/25/EPP, eISSN 2730-1028