

ISSN 1335-339X
eISSN 2730-1028

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2023

ROČNÍK 26 - ČÍSLO 1
VOLUME 26 - NUMBER 1



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 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 at <http://www.shmu.sk/en/?page=31>.

REDAKČNÁ RADA – EDITORIAL BOARD

Šéfredaktor – Editor-in-Chief

Milan Onderka, PhD., Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences, Slovakia
milan.underka@savba.sk

Zástupca šéfredaktora – Associate Editor

Jozef Pecho, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
jozef.pecho@shmu.sk

Členovia redakčnej rady – Handling editors

Martin Benko, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Michal Danko, PhD., Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Liptovský Mikuláš, Slovakia
Mária Derková, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Pavol Faško, 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
Prof. Milan Lapin, PhD., Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Slovakia
Ondřej Ledvinka, PhD., Czech hydrometeorological institute, Prague, Czechia
Danica Lešková, PhD., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
Martin Kremler, 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, PhD., 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. Bernard 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

VYDAVATEL – PUBLISHER

© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, júl 2023
Jeséniova 17, P. O. Box 15, 833 15 Bratislava 37
IČO 00 156 884
R. č. MK SR: 3268/09
ISSN 1335-339X, eISSN 2730-1028

METEOROLOGICKÝ ČASOPIS

METEOROLOGICAL JOURNAL

2023

ROČNÍK 26 – ČÍSLO 1

VOLUME 26 – NUMBER 1

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



CONTENTS

10-YEARS SATELLITE AND RAIN GAUGE PRECIPITATION LONG TERM AVERAGES FOR ESTIMATION DRY/WET PERIODS OVER SLOVAKIA (JULY 2012 – JUNE 2022) Ján Kaňák, Ľuboslav Okon, Peter Kajaba, Ladislav Méri, Marian Jurašek	3
SPATIAL DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN SLOVAKIA DURING DIFFERENT TYPES OF SYNOPTIC SITUATIONS IN THE PERIOD 1991 – 2020 Martin Halaj, Peter Zaujec	15
DIGITAL ATLAS OF RAINFALL DESIGN INTENSITIES IN SLOVAKIA Milan Onderka, Marek Soká, Katarína Mikulová, Jozef Pecho.....	27
EVALUATION DACADAL TRENDS FOR SELECTED AIR TEMPERATURE CHARACTERISTICS AND DAYS WITH CHARACTERISTIC AIR TEMPERATURE IN SLOVAKIA FOR THE PERIOD 1951 – 2020 Dominika Šadláková.....	39
CHANGES IN THE HIGH-ALTITUDE CLIMATE OF HIGH TATRA MTS. EVALUATED BY CLIMATIC NORMALS FROM THE SKALNATÉ PLESO OBSERVATORY Veronika Lukášová, Svetlana Varšová, Anna Buchholcerová, Milan Onderka, Dušan Bilčík	47
THE EFFECT OF AIR TEMPERATURE ON THE SPREAD OF AMBROSIA BEETLE XYLOSANDRUS GERMANUS IN SLOVAKIA Jozef Rozkošný, Juraj Galko	53

INFORMATION

Evaluation of the hydrological year 2022 Katarína Kotríková, Lotta Blaškovičová, Katarína Jeneiová, Soňa Liová, Jana Podolinská, Katarína Slivková, Beáta Síčová.....	57
Klimatologická stanica v Oravskej Lesnej začala pozorovať pred 80 rokmi Dalibor Výberčí, Pavol Faško	61
Hydrological year 2022 in groundwater Valéria Slivová, Eugen Kullman, Zuzana Paľušová	63
European Meteorological Society Conference 2023 Paulína Valová.....	66
Interreg Central Europe Katarína Mikulová a Lívia Labudová.....	67

PERSONALS	69
------------------------	----

OBSAH

10-ROČNÉ DLHODOBÉ PRIEMERY ZRÁŽOK ZO SATELITOV A ZRÁŽKOMEROV PRE URČENIE SUCHÝCH A VĽHKÝCH OBDOBÍ NA ÚZEMÍ SLOVENSKA (JÚL 2012 – JÚN 2022) Ján Kaňák, Ľuboslav Okon, Peter Kajaba, Ladislav Méri, Marian Jurašek.....	3
PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE ATMOSFÉRICKÝCH ZRÁŽOK NA SLOVENSKU POČAS RÔZNYCH TYPOV SYNOPTICKÝCH SITUÁCIÍ V OBDOBÍ 1991 – 2020 Martin Halaj, Peter Zaujec	15
DIGITÁLNY ATLAS NÁVRHOVÝCH HODNÔT INTENZÍT DAŽĎA NA SLOVENSKU Milan Onderka, Marek Soká, Katarína Mikulová, Jozef Pecho.....	27
ZHODNOTENIE DEKÁDNÝCH TRENDOV VYBRANÝCH TEPLOTNÝCH CHARAKTERISTÍK A DNÍ S CHARAKTERISTICKOU TEPLOTOU VZDUCHU NA SLOVENSKU ZA OBDOBIE 1951 – 2020 Dominika Šadláková	39
ZMENY VYSOKOHORSKEJ KLÍMY VYSOKÝCH TATIER HODNOTENÉ KLIMATICKÝMI NORMÁLMI Z OBSERVATÓRIA NA SKALNATOM PLESE Veronika Lukášová, Svetlana Varšová, Anna Buchholcerová, Milan Onderka, Dušan Bilčík.....	47
VPLYV TEPLoty VZDUCHU NA ŠÍRENIE DRVINÁRIKA ČIERNEHO XYLOSANDRUS GERMANUS NA SLOVENSKU Jozef Rozkošný, Juraj Galko	53

INFORMÁCIE

Zhodnotenie hydrologického roka 2022 Katarína Kotríková, Lotta Blaškovičová, Katarína Jeneiová, Soňa Liová, Jana Podolinská, Katarína Slivková, Beáta Síčová	57
Klimatologická stanica v Oravskej Lesnej začala pozorovať pred 80 rokmi Dalibor Výberčí, Pavol Faško	61
Hydrologický rok 2022 v podzemnej vode Valéria Slivová, Eugen Kullman, Zuzana Paľušová	63
Konferencia Európskej meteorologickej spoločnosti 2023 Paulína Valová.....	66
Interreg Central Europe Katarína Mikulová a Lívia Labudová.....	67

PERSONÁLIE	69
-------------------------	----

10-ROČNÉ DLHODOBÉ PRIEMERY ZRÁŽOK ZO SATELITOV A ZRÁŽKOMEROV PRE URČENIE SUCHÝCH A VLEHKÝCH OBDOBÍ NA ÚZEMÍ SLOVENSKA (JÚL 2012 – JÚN 2022)

JÁN KAŇÁK, ĽUBOSLAV OKON, PETER KAJABA, LADISLAV MÉRI, MARIAN JURAŠEK

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava

In the frame of EUMETSAT H SAF project, in validation working group the evaluation of precipitation products is a very important task. Validation is based on comparison of satellite data against ground truth (raingauge or radar measurements). Mainly statistical comparisons of instantaneous precipitation or 24-hour accumulations we have performed till now in order to evaluate HSAF precipitation products quality and performance. The aim of this study is to use long-term accumulated precipitation data on monthly basis. Maximum 10 years of H05A/B H SAF products is available for this kind of work – operationally generated and archived data are covering the period from July 2012 until now. For estimation of DRY/NORMAL/WET periods in terms of precipitation over Slovak territory, we worked in following way:

- *creation of monthly accumulated precipitation (monthly totals) in mm per month (120 months),*
- *generation of monthly long-term normals from 10-year averages of accumulated precipitation for each month of the year,*
- *calculations of monthly anomalies (difference between monthly accumulated precipitation and monthly long-term normals),*
- *final evaluation of monthly anomalies according DRY/NORMAL/WET classification table.*

Our satellite database contains 120 evaluated months, which we classified according to the above scheme and compared with the same classification of data from the rain gauge network. In the comparison of monthly precipitation totals from satellite products with the Slovak network of rain gauges for the period July 2012 to June 2022, we achieved agreement in 78% of the cases.

V rámci EUMETSAT projektu H SAF, vo validačnej pracovnej skupine, je hodnotenie produktov zrážok veľmi dôležitou úlohou. Validácia je založená na porovnaní družicových údajov s pozemnými referenčnými údajmi (merania pomocou zrážkomernej siete alebo rádiolokátorov). Predovšetkým štatistické porovnania okamžitých intenzít zrážok alebo ich 24-hodinových úhrnov sme doteraz vykonávali na vyhodnotenie kvality a presnosti zrážkových produktov H SAF. Cieľom tejto štúdie je využiť údaje o zrážkach na mesačnej báze pre získanie dlhodobého referenčného obdobia. K tomuto účelu máme k dispozícii maximálne 10 rokov produktov H SAF H05A/B. Operatívne generované a archivované dáta týchto produktov pokrývajú obdobie od júla 2012 dodnes. Pri hodnotení periód klasifikovaných ako SUCHÉ/NORMÁLNE/VLEHKÉ z hľadiska zrážok v rámci územia Slovenska sme postupovali nasledujúcim spôsobom:

- *príprava mesačných úhrnov zrážok v mm za mesiac (pre 120 mesiacov od júla 2012 do júna 2022),*
- *generovanie mesačných dlhodobých normálov z 10-ročných priemerov úhrnov zrážok pre každý mesiac v roku (január až december),*
- *výpočty mesačných anomálií (rozdiel medzi mesačnými úhrnmi zrážok a mesačnými dlhodobými normálmi),*
- *konečné vyhodnotenie mesačných anomálií podľa zjednodušenej klasifikačnej tabuľky SUCHÝ/NORMÁLNY/VLEHKÝ mesiac.*

Naša satelitná databáza obsahuje 120 hodnotených mesiacov, ktoré sme oklasifikovali podľa vyššie uvedenej schémy a porovnali s rovnakou klasifikáciou údajov zo zrážkomernej siete. V porovnaní mesačných úhrnov zrážok zo satelitných produktov so slovenskou sieťou zrážkomerov za obdobie júl 2012 až jún 2022 sme dosiahli zhodu v 78 % prípadov.

Key words: *satellite precipitation estimation, monthly totals, long-term averages, anomalies, rain characteristics*

ÚVOD

SHMÚ je plnoprávnym členom organizácie EUMETSAT od 1. 1. 2006, ale naša spolupráca v rámci satelitných aplikácií začala už v septembri 2005 zapojením sa do projektu H-SAF. H-SAF patrí do skupiny 8 projektov, v rámci ktorých sa satelitné produkty negenerujú centrálne v EUMETSAT-e, ale distribuovane v členských štátoch. V prvej 5-ročnej fáze konzorcium H-SAF pod vedením Meteorologickej služby Talianska vyvinulo základné produkty pre detekciu intenzity zrážok a odhad úhrnov zrážok (Kaňák a kol., 2021). Úhrny sú integrované pomocou 15-minútových meraní oblačnosti družicou Meteosat do

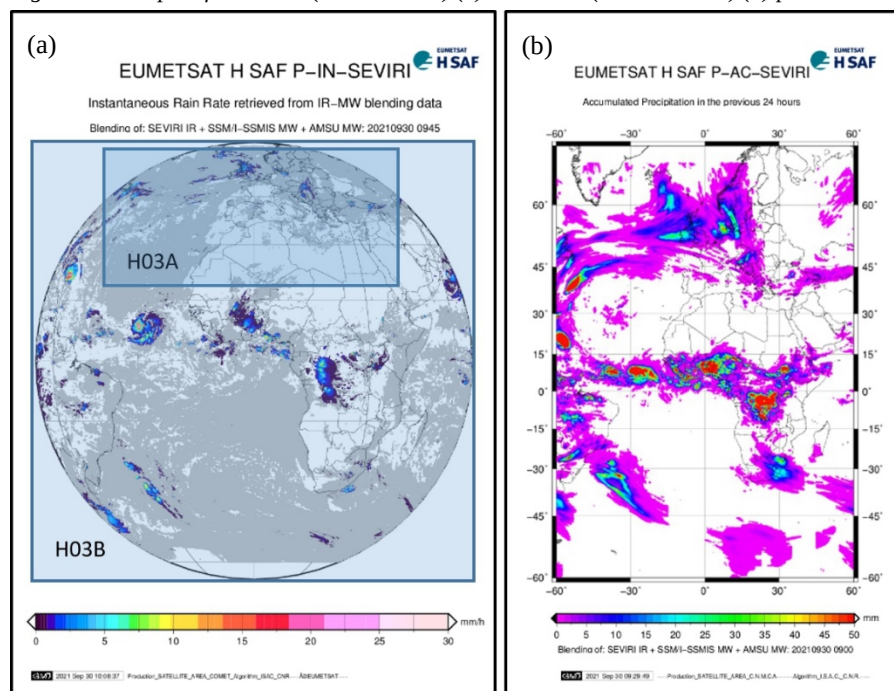
základného časového intervalu 1 hodiny. Z neho sa potom integrujú 3, 6, 12 a 24 hodinové úhrny. Údaje sú organizované v maticiach s krokom zodpovedajúcim natívnemu rozlíšeniu satelitného prístroja SEVIRI 3km² v subsatelitnom bode. Integrácia dlhšieho časového obdobia doteraz nebola využitá v štúdiách, ani v operatívnej praxi. Preto sme sa na SHMÚ rozhodli spracovať 24-hodinové odhady zrážok zo satelitu do mesačných úhrnov a tieto porovnať voči meraniam zrážkomernej siete SHMÚ. Keďže zrážky ako meteorologický prvok majú výrazne stochastický charakter, pristúpili sme pri hodnotení satelitných údajov pomocou zrážkomernej siete k nepriamemu porovnávaniu pomocou dlhodobých normálov a mesačných anomálií.

Tieto sme na záver použili pri identifikovaní suchých, normálnych a vlhkých období nad územím Slovenska. Aplikovateľnosť satelitných údajov je aj mimo územia Slovenska, ale v tejto štúdii bez záruky kontroly kvality satelitných údajov pomocou údajov zo zrážkomernej siete.

V rámci validačných aktivít H-SAF je hodnotenie produktov zrážok veľmi dôležitou úlohou. Validácia je založená na porovnaní družicových údajov s pozemnými meraniami (spravidla meraní pomocou zrážkometerov, radaru, alebo ich kombinácie) (Rinollo a kol, 2013; Puca a kol. 2014). Doteraz sa uskutočňovali najmä štatistické porovnania okamžitej intenzity zrážok alebo maximálne 24-hodinové akumulácie.

Obrázok 1. Ukážka produktu H03B (P-IN-SEVIRI) (a) a H05B (P-AC-SEVIRI) (b).

Figure 1. Example of the H03B (P-IN-SEVIRI) (a) and H05B (P-AC-SEVIRI) (b) product.



CIEĽ ŠTÚDIE

Cieľom tejto štúdie je použiť vhodne spracované údaje o zrážkach na mesačnej báze a pre dostatočne dlhé obdobie. Keďže družicové pozorovania sa stále vyvíjajú, získať konzistentný časový rad meraní z nich nie je jednoduché. V prípade H-SAF detekcie zrážok sme sa dnes dostali do bodu, kedy máme k dispozícii práve 10-ročný neprerušovaný rad plošných odhadov zrážok, použitý ako referenčné obdobie. V klimatológii sa používajú štandardné referenčné obdobia väčšinou viazané na dekády, v tejto štúdii to vzhľadom na dostupnosť konzistentného radu satelitných pozorovaní zrážok zatiaľ možné nie je. Konkrétne máme k dispozícii produkt H-SAF H05A/B - operatívne generovaný a dostupný z archívu EUMETSAT-u pre registrovaných užívateľov od júla 2012 dodnes. Produkt typu A pokrýva územie Európy, produkt typu B celú priľahlú pologuľu, ktorá je snímaná Meteosat-om z pozície (0°,0°) zemepisnej šírky a dĺžky (Obr. 1). Algoritmy produktov A a B, fyzikálne totožné, sa líšia iba dostupnosťou podporných údajov z rôznych regiónov - globálne alebo regionálne numerické modely sú iné v oblasti Európy, iné v oblasti Afriky atď. V princípe sú však produkty typu A a B konzistentné pre celé spracované obdobie 2012–2022.

Úlohou bolo odhadnúť zo satelitných alebo zrážkomerných údajov na mesačnej báze, či z hľadiska charakteru zrážok ide o obdobie suché, normálne, alebo vlhké, a to nasledujúcim postupom:

1. Príprava mesačných kumulovaných zrážok (mesačných úhrnov) v mm zo satelitu aj zo zrážkomernej siete pre 120 mesiacov od júla 2012 do júna 2022.

2. Príprava mesačných dlhodobých normálov, čiže 10-ročných priemerov kumulovaných zrážok pre každý mesiac v roku - január až december.
3. Vypočítanie mesačných odchýlok (anomálií), čiže rozdielu medzi mesačnými kumulovanými zrážkami a mesačnými dlhodobými normálmi.
4. Vyhodnotenie mesačných anomálií pre celé územie Slovenska podľa klasifikačnej tabuľky charakteristík zrážok (DRY/NORMAL/WET). Softvér k tomuto účelu pripravený je možné prekonfigurovať pre hodnotenie inak definovaných oblastí, ako sú kraje, povodia riek a podobne.
5. Postup podľa bodov 1 až 5 sme aplikovali tak na údaje zo satelitného produktu H05A/B, ako aj z údajov zrážkomernej siete SHMÚ.

POPIS SATELITNÝCH ÚDAJOV H03A/B A H05A/B (P-IN-SEVIRI A P-AC-SEVIRI)

Výhodou družicových meraní v pásme mikrovlnného žiarenia (PMW) je vysoká presnosť detekcie zrážok, ktorá je len málo ovplyvnená pokrytím oblačnosťou. Tieto merania majú však nízke priestorové rozlíšenie (od 15 do 48 km) a sú dostupné len z preletov polárnych družíc s mikrovlnnými skenermi, takže nie sú príliš vhodné na nepretržitý monitoring a odhad kumulovaných zrážok. Z tohto dôvodu bol v rámci H SAF vyvinutý produkt P-IN-SEVIRI (Obr. 1a), ktorý v sebe kombinuje vysokú presnosť PMW meraní s pravidelným a hustým časovým krokom pozorovaní, ktoré poskytujú geostacionárne družice. Ide o mapový produkt intenzity zrážok, odvodený z IR snímok kanála 10,8 μm

z geostacionárnych družíc Meteosat, kalibrovaných meraniami zrážok z PMW senzorov na cirkumpolárnych družiciach (vstupom sú produkty P-IN-SSMIS a P-IN-MHS) (ATBD-H01, EUMETSAT 2013), (ATBD-H02B, EUMETSAT 2019). Produkt je aktualizovaný každých 15 minút a je dostupný do 5 minút od ukončenia skenovacieho cyklu snímača SEVIRI. Kalibračné vyhľadávacie tabuľky (LUT), určené na prepočet jasovej teploty z IR kanála na intenzitu zrážok, sú aktualizované po každom prelete družice vybavenej mikrovlnným rádiometrom.

Tento produkt je odvodený z jeho predchodcu H03A, ktorý pokrýva iba európsku oblasť. Doména H03B je rozšírená o Afriku a južný Atlantik v rozsahu: 60° J – 67,5° S z. š., 80° Z – 80° V z. d., čo sa dosiahlo spracovaním MSG meraní z celého zemského disku, ktorý družica štandardne sníma (Obr. 1). Priestorové rozlíšenie produktu sa mení v závislosti od pozorovacieho uhla geostacionárnej družice: 3 km v sub-satelitnom bode a okolo 6 km nad Slovenskom. Relatívna chyba merania intenzity zrážok (RMSE %) je 40 – 80 % pre intenzity ≥ 10 mm/h a 80 – 160 % pre 1 – 10 mm/h. Produkt je dostupný vo formáte GRIB-2 s hodnotami v gridových bodoch projekcie družice Meteosat. Podrobnejšie informácie o produkte sú uvedené v dokumentácii (ATBD-H03B, EUMETSAT 2017).

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

Produkt má rovnaké priestorové rozlíšenie a región s produktom P-IN-SEVIRI (Obr. 1b). Dáta sú dostupné vo formáte GRIB-2 s hodnotami v gridových bodoch projekcie družice Meteosat. Podrobnejšie informácie o produkte sú uvedené v dokumentácii (ATBD-H05B, EUMETSAT 2017).

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

Rozdiely medzi údajmi zo satelitu a zrážkomernej siete sú významné z dôvodov rozdielnosti meracích metód, a preto aj porovnanie oboch typov údajov si vyžaduje vyššie uvedené postupy spracovania s cieľom získania čo najreprezentatívnejších výsledkov. Kým satelitné údaje pokrývajú celé záujmové územie v pravidelnej mriežke, údaje zo zrážkomerov sú bodové, máme ich k dispozícii iba pre územie Slovenska a je potrebné ich interpolovať do pravidelnej mriežky (Obr. 2).

METODIKA TVORBY MÁP ATMOSFÉRICKÝCH ZRÁŽOK

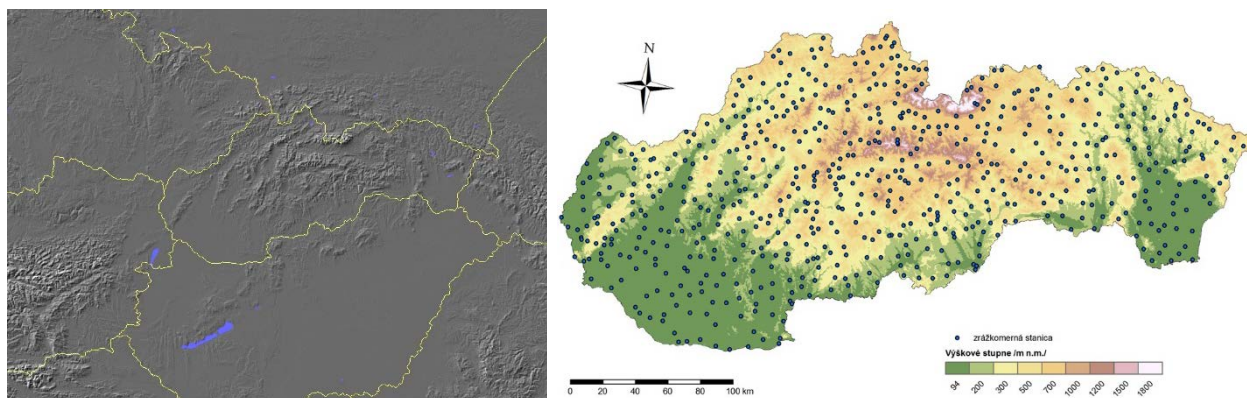
Vstupné údaje

Do spracovania mapy mesačných úhrnov atmosférických zrážok vstupujú údaje zo 665 meteorologických staníc rovnomerne rozmiestnených v rámci celého Slovenska.

Napriek zdanlivo hustej pozorovacej staničnej sieti sa na území Slovenska vyskytujú pomerne rozsiahle oblasti, v ktorých klimatické údaje absentujú. Ide najmä o stredohorské a vysokohorské oblasti Malých a Bielych Karpát, Javorníkov, Malej a Veľkej Fatry, Moravských a Oravských Beskýd, Nízkych, Vysokých a Západných Tatier, ako aj niektorých ďalších, najmä pohraničných pohorí. Pre potreby komplexnejšej priestorovej analýzy bolo nevyhnutné údaje pre uvedené oblasti doplniť prostredníctvom tzv. „virtuálnych staníc“, ktorých priestorové rozloženie v konkrétnych horských regiónoch bolo expertne navrhnuté s ohľadom na klimatické špecifiká akumulácie a časového vývoja v prírodnom prostredí Slovenska. Pri interpolácii používame 830 bodov, z toho 665 staničných. Pre interpoláciu údajov do vrstvy ASCII sme použili digitálny model terénu DTM 500.

Obrázok 2. Vľavo: Orografia Slovenska v projekcii Mercator pre zobrazenie satelitných údajov. Vpravo: Mapa rozloženia zrážkomerných staníc SHMÚ v projekcii WGS84.

Figure 2. Left: Orography of Slovakia in Mercator projection for displaying satellite data. Right: Map of the distribution of SHMÚ rain gauge stations in WGS84 projection.



Interpolácia údajov v prostredí GIS

Pre tento účel je na OKS využívaná najmä metóda regularizovaného splajnu s tenziou. Matematická formulácia regularizovaného splajnu s tenziou umožňuje pri interpolácii zahrnúť aj informácie o priestorovom rozložení doplnujúcej premennej, napr. pri interpolácii atmosférických zrážok a teploty vzduchu využiť informácie o topografii územia (georeliéf).

Pri priestorovej interpolácii bola použitá metóda trojdimenzionálneho regularizovaného splajnu s tenziou v prostredí GIS-GRASS, kde ako doplnková premenná vstupovala nadmorská výška reprezentovaná digitálnym modelom terénu (DTM 500). Nastavenie parametrov interpolácie vychádza z dlhoročnej praxe pracovníkov odboru Klimatologická služba, ktoré sú štandardne využívané pri interpolácii. Výsledkom interpolácie údajov je súbor v ASCII formáte. Klimatologické mapy zrážok a anomálií publikuje SHMÚ pravidelne na webe SHMÚ, napríklad v percentách normálu (Web SHMÚ: Klimatológia - mesačné mapy, 2023) alebo absolútne mesačné úhrny zrážok (Klimatológia - mesačné mapy, 2022).

Metóda regularizovaného splajnu s tenziou

V klimatológii sa často stretávame s problémom modelovania javov pomocou spojitých funkcií, ktorých hodnoty poznáme len v niekoľkých diskretných bodoch. Interpoláčnne metódy, ktoré využívajú tzv. variačný prístup pri modelovaní týchto javov, sa nazývajú tzv. splajny.

Metódy splajnu sú založené na predpoklade, že interpoláčnna funkcia má prechádzať čo najbližšie cez známe diskretné body a má byť hladká. Variačné riešenie tohto problému môžeme formulovať takto (Mitáš a Mitášová, 1988):

$$\sum_{j=1}^N |z^{[j]} - S(x^{[j]})|^2 w_j + w_0 I(S) = \min,$$

kde $z^{[j]}$ sú hodnoty merané v diskretných bodoch, $x^{[j]} = (x_1^{[j]}, x_2^{[j]}, \dots, x_d^{[j]})$, $j = 1, \dots, N$, w_j a w_0 sú pozitívne váhy a $I(S)$ je seminorma hladkosti. Riešením je rovnica:

$$S(x) = T(x) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x, x^{[j]}),$$

v ktorej $T(x)$ je „trendová“ funkcia $T(x) = \sum_{i=1}^m a_i f_i(x)$ s množinou lineárne nezávislých funkcií $f_i(x)$, a $R(x, x^{[j]})$ je generujúca (tzv. „radial basis“) funkcia, ktorej explicitný tvar závisí od voľby seminormu hladkosti $I(S)$ a nakoniec a_i, λ_j sú koeficienty (Mitáš a Mitášová, 1999).

Matematická formulácia regularizovaného splajnu s tenziou umožňuje pri interpolácii zahrnúť aj informácie o priestorovom rozložení doplnujúcej premennej, napr. pri interpolácii atmosférických zrážok a teploty vzduchu využiť informácie o topografii územia. Tento typ modelovania vychádza z prístupu, v ktorom sa pri modelovaní priestorového rozloženia d-rozmerného fenoménu $u = F(x_1, \dots, x_d)$ daného meranými diskretnými bodmi $(x_1^{[i]}, \dots, x_d^{[i]}, u^{[i]}) = (x^{[i]}, u^{[i]})$ $i = 1, \dots, N$ využíva informácia o priestorovej distribúcii

doplnkového d-rozmerného fenoménu $z = G(x_1, \dots, x_d)$. Vplyv doplnkovej premennej je vyjadrený ako $d+1$ súradnica $x_{d+1}^{[i]} = cG(x^{[i]})$, kde c je tzv. škálovací faktor. Z bodov $x_{d+1}^{[i]}$ tvoriacich $d+1$ -variačnú funkciu $S^*(x^*)$ môžeme potom vyjadriť výslednú interpolačnú funkciu $S(x)$ ako $S(x) = S^*(x, cG(x))$ (Mitáš a Mitášová, 1999).

Najlepšie výsledky dosahuje metóda pri interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy, keďže metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po častiach interpolujú jednotlivé časti povrchu, výsledný povrch má minimálnu krivosť.

Interpoláčnna metóda regularizovaný splajn s tenziou patrí k veľmi presným a flexibilným interpolačným metódam. Využíva sa pri modelovaní rôznych typov povrchov nielen z diskretných bodových meraní, ale aj zo zdigitalizovaných izočiari. Významnou vlastnosťou tejto interpolačnej metódy je možnosť efektívneho modelovania javov funkciami troch premenných (Mitáš a Mitášová, 1999). Pre spracovanie máp atmosférických zrážok bol použitý smoothing parameter 0.1 a tension parameter 40.

Kompletné klimatologické spracovania čitateľ nájde napríklad v (Bulletin meteorológia a klimatológia, 2022).

Re-projekcia zrážkomerných a satelitných údajov do spoločného rastra

Pre porovnanie interpolovaných ASCII údajov zrážkomerov s binárnymi satelitnými údajmi sme postupovali tak, že sme zemepisné súradnice z GIS formátu exportovali do textového, z ktorého sme prečítali zemepisné súradnice každého bodu matice 1056 x 699. Satelitné údaje sú formátované v matici 1035 x 780 bodov v projekcii Mercator. Pre body tejto projekcie v pravouhlých súradniciach (x,y) sme projekčnými rovnicami vypočítali zemepisné súradnice a tie sme nakoniec lokalizovali metódou minimálnej vzdialenosti v regulárnej matici reprezentujúcej projekciu WGS84. Týmto postupom sme dokázali polohovo stotožniť satelitné hodnoty s interpolovanými hodnotami zrážkomernej siete. Rozptylové diagramy rozdielov pravouhlých a zemepisných súradníc medzi projekciou WGS84 a Mercator ukazuje Obr. 3, z ktorého vyplýva, že rozptyl rozdielov súradníc v oboch maticiach je dostatočne malý na to, aby metóda priraďovania podľa minimálnej vzdialenosti fungovala spoľahlivo.

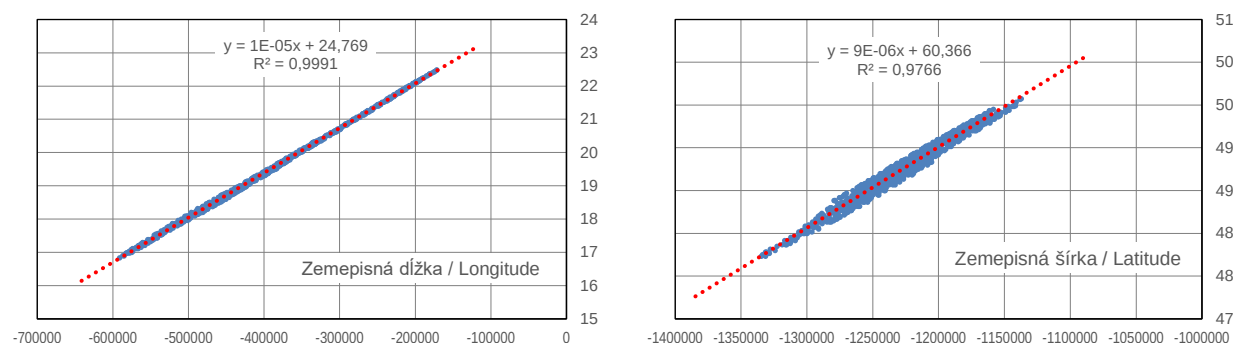
Klasifikácia charakteru zrážkového obdobia

Vzhľadom k premenlivosti zrážok a ich výskytu v čase a priestore je potrebné prispôsobiť hranice intervalov rôznych tried dĺžke obdobia. Preto pre obdobia jedného mesiaca sa používajú širšie intervaly medzi hranicami ako pre ročné sezóny, alebo pre dlhšie trvajúce periódy. Napríklad obdobie sucha trvajúce viac ako 3 mesiace ešte užšími intervalmi. Nami použité definície charakteristík, ako boli zadefinované odborníkmi klimatologickej služby SHMÚ, sú uvedené v Tab. 1.

Pre naše účely v konečnom hodnotení sme znížili počet tried, aby sme výsledky mohli interpretovať jednoduchšie (Tab. 2).

Obrázok 3. Vzťah medzi súradnicami projekcií WGS84 (sieť zrážkomerov) a Mercator (satelitné údaje) - vľavo zemepisná dĺžka, vpravo zemepisná šírka.

Figure 3. Relationship between WGS84 (rain gauge network) and Mercator (satellite data) projections coordinates - longitude on the left, latitude on the right.



Tabuľka 1. Klasifikácia charakteru zrážkových období pre mesiace a pre ročné obdobia.

Table 1. Definition of characteristics of precipitation periods for months and seasons.

Definícia	Pre mesiace	Pre ročné obdobia
MIMORIADNE SUCHÉ	< 10 %	< 60 %
VEĽMI SUCHÉ	10 – 49 %	60 – 79 %
SUCHÉ	50 – 79 %	80 – 89 %
NORMÁLNE	80 – 120 %	90 – 110 %
VLHKÉ	121 – 150 %	111 – 120 %
VEĽMI VLHKÉ	151 – 190 %	121 – 140 %
MIMORIADNE VLHKÉ	> 190 %	> 140 %

Tabuľka 2. Zjednodušená klasifikácia charakteru zrážkových období.

Table 2. Simplified classification of characteristics of precipitation periods.

(1) SUCHÉ	MIMORIADNE a VEĽMI SUCHÉ	menej ako 50 %
(2) NORMÁLNE	SUCHÉ a NORMÁLNE a VLHKÉ	50 % až 150 %
(3) VLHKÉ	VEĽMI a MIMORIADNE VLHKÉ	viac ako 50 %

VÝSLEDKY

V tejto štúdii hodnotíme dažďové charakteristiky na mesačnej báze. Pre vyhodnotenie ročných období, alebo iných období s dĺžkou trvania týždňov až mesiacov, plánujeme pripraviť v blízkej budúcnosti všeobecnejší softvér na spracovanie údajov.

Prvým krokom pri spracovaní údajov bola príprava mesačných úhrnov zrážok podľa satelitu a podľa zrážkomernej siete SHMÚ. Obrázky tu neprezentujeme pre ich veľkosť v plnom rozlíšení. Pre odborníkov sú k dispozícii v plnej kvalite na intranete SHMÚ. Na Obr. 4 uvádzame dlhodobé normály mesačných úhrnov zrážok získané zo satelitu (vľavo) a zo zrážkomernej siete SHMÚ (vpravo). V maticiach 3 x 4 sme ich usporiadali tak, aby v prvom riadku boli zimné mesiace, v druhom jarné, v treťom letné a vo štvrtom jesenné. Zimné mesiace, prvé dva jarné

a posledný jesenný mesiac sú charakteristické nižšími úhrnmi ako posledný jarný a všetky letné mesiace s prevládajúcim režimom konvekčných zrážok. Pozorujeme to rovnako na satelitných aj zrážkomerných údajoch. Na mapách zo zrážkomerov sú úhrny vďaka použitému algoritmu trojdimenzionálneho regularizovaného splajnu s tenziou distribuované zreteľne podľa nadmorskej výšky – čím väčšia nadmorská výška, tým vyššie úhrny. Pri satelitných údajoch táto charakteristická črta chýba, pretože algoritmus produktu H05A/B žiadny vplyv orografie nepoužíva. Výhodou satelitných údajov je však ich plošné pokrytie. Vďaka nemu môžeme pracovať s hodnotami úhrnov v každom bode zobrazenej mapy tak v rámci územia SR, ako aj mimo neho. Homogenita kvality satelitných údajov je algoritmicke čiastočne rušená rozdelením celej matice satelitného produktu do menších blokov s krokom 5° v zemepisnej šírke aj dĺžke, v rámci ktorých sa používajú podporné parametre algoritmu, ktorý je popísaný v dokumentácii produktu (ATBD H02B, 2019). Efekt je zreteľný najmä v mesiacoch s nízkymi mesačnými úhrnmi zrážok (zimné mesiace). Relatívna chyba určenia nízkych úhrnov zrážok pri satelitnom produkte je omnoho väčšia ako pri vysokých úhrnoch.

Po získaní dlhodobých mesačných priemerov sme pristúpili k výpočtu mesačných anomálií pre obidva zdroje údajov o zrážkach. Získali sme tak dve sady 120 obrazových matic, ktoré pre ilustráciu uvádzame na Obr. 5 (anomálie podľa satelitu) a na Obr. 6 (anomálie podľa zrážkomernej siete SHMÚ). Snímky v plnom rozlíšení sú dostupné pre pracovníkov SHMÚ na intranete.

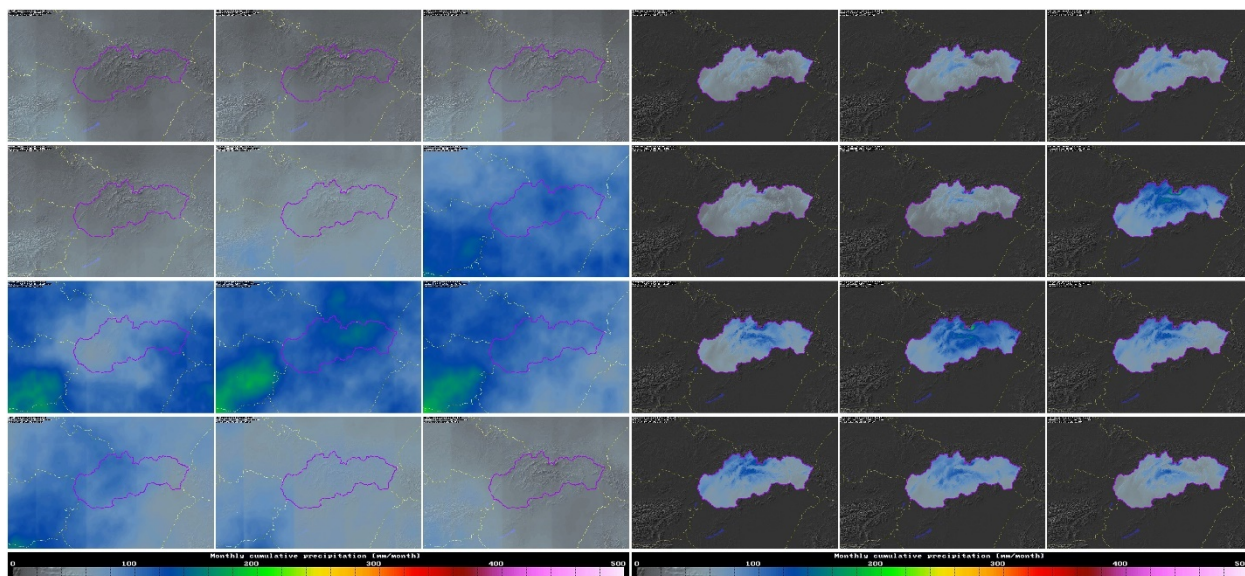
HODNOTENIE VYBRANÝCH MESIACOV

Z celého súboru 120 mesiacov z obdobia júl 2012 až jún 2022 sme do tejto štúdie vybrali niekoľko vzorových prípadov: február 2016, október 2016, júl 2019, marec 2021, apríl 2022 a jún 2022.

Vzorový prípad 1: Február 2016 bol na Slovensku zrážkovo nadnormálny (Tab. 3). Na mnohých miestach krajiny to bol silne, mimoriadne až extrémne zrážkovo nadnormálny február. Mesačné úhrny atmosférických

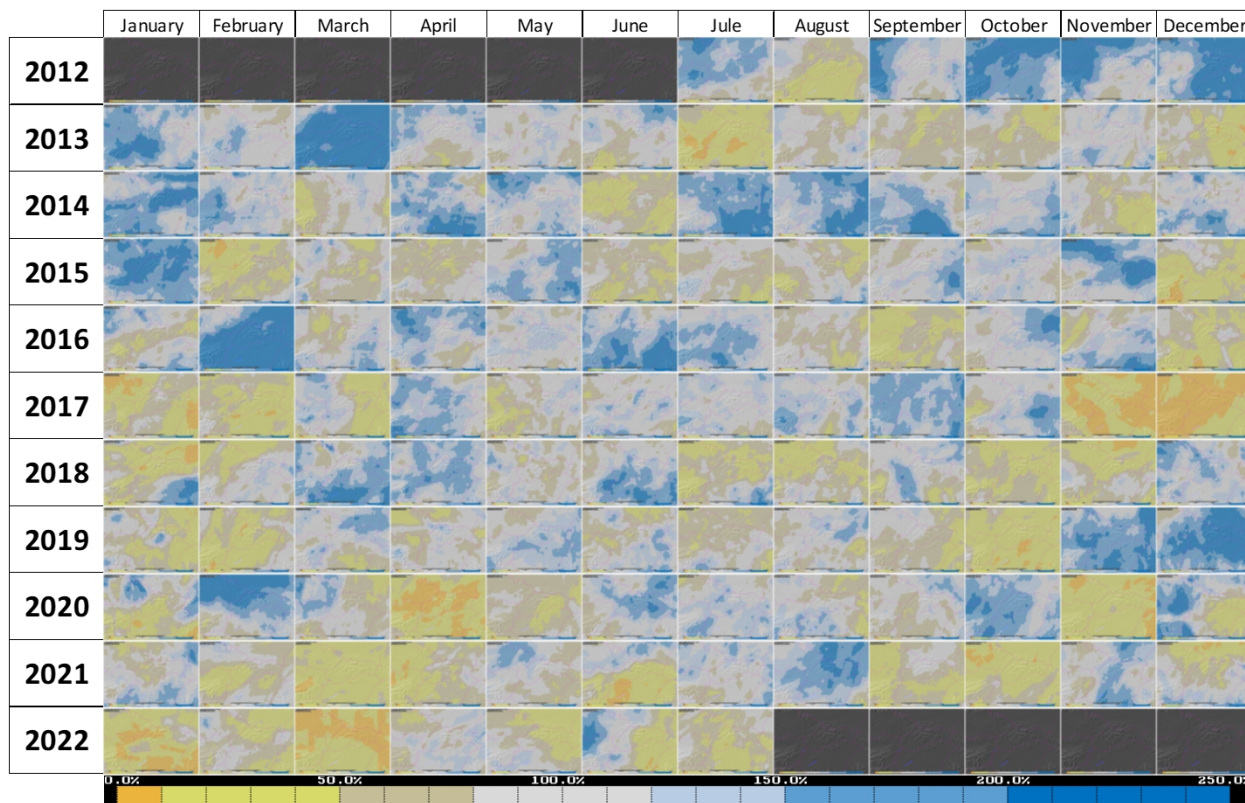
Obrázok 4. 10-ročné dlhodobé priemery mesačných úhrnov zrážok 2012–2021 (júl–december), resp. 2013–2022 (január–jún). Vľavo – zo satelitného produktu H05A/B, vpravo – zo zrážkomernej siete SHMÚ. V mozaike, zľava doprava: prvý riadok – december, január, február, druhý riadok – marec, apríl, máj, tretí riadok – jún, júl, august, štvrtý riadok – september, október, november.

Figure 4. 10-year long-term normals of monthly precipitation totals 2012–2021 (July–December), or 2013–2022 (January–June). On the left – from the H05A/B satellite product, on the right – from the SHMÚ rain gauge network. In the mosaic, from left to right, first row – December, January, February, second row – March, April, May, third row – June, July, August, fourth row – September, October, November.



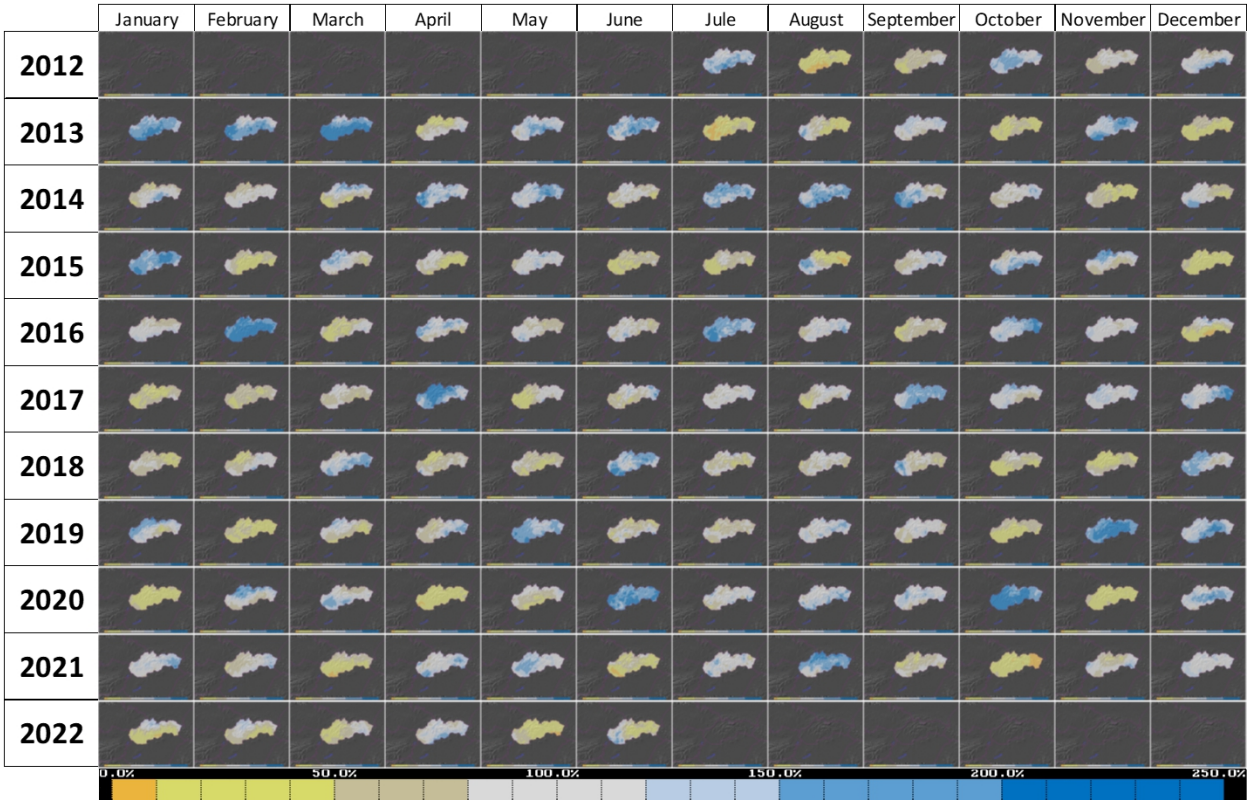
Obrázok 5. Mesačné anomálie zrážok podľa satelitného produktu H05. Relatívne rozdiely v [%] od 0 do 250 % mesačných súm za každý mesiac v období rokov 2012 – 2022. 100 % zodpovedá dlhodobému priemeru.

Figure 5. Monthly precipitation anomalies according H05 product. Relative differences in [%] from 0 to 250% of monthly sums for each month in the period of years 2012 – 2022. 100% corresponds to the long-term average.



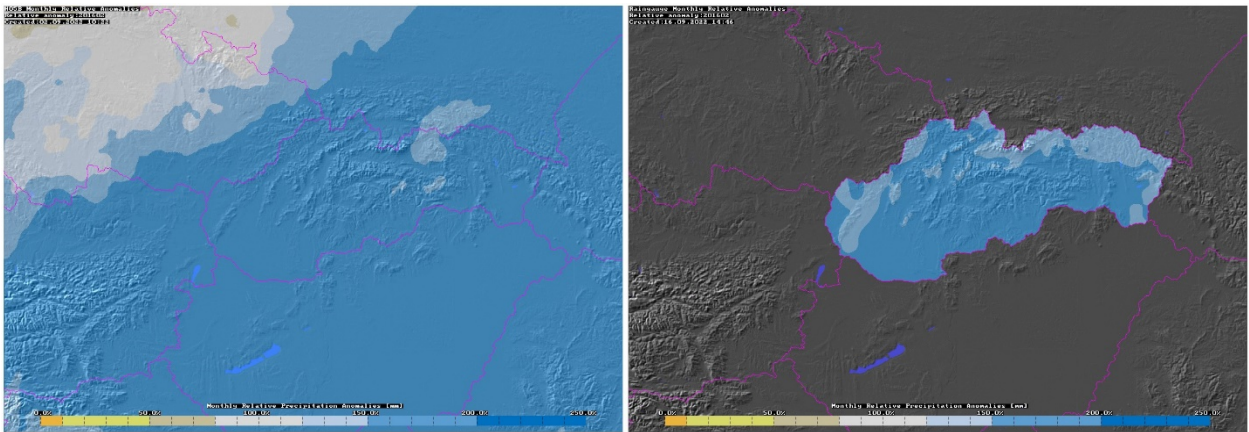
Obrázok 6. Mesačné anomálie zrážok podľa zrážkomernej siete SHMÚ. Relatívne rozdiely v [%] od 0 do 250 % mesačných súm za každý mesiac v období rokov 2012–2022. 100 % zodpovedá dlhodobému priemeru.

Figure 6. Monthly precipitation anomalies according SHMÚ raingauge network in [%] from 0 to 250% of monthly sums for each month in the period of years 2012–2022. 100% corresponds to the long-term average.



Obrázok 7. Porovnanie mesačnej anomálie pre február 2016. Příklad vlhkého mesiaca. VTavo – podľa satelitu, vpravo – podľa zrážkomernej siete.

Figure 7. Comparison of the monthly anomaly for February 2016. Example of a wet month. On the left – according to the satellite, on the right – according to the rain gauge network.



zrážok sa pohybovali väčšinou od približne 60 mm, na najkrajnejšom západe do viac ako 200 mm v oblasti Pohronského Inovca, Vtáčnika, Kremnických vrchov, Malej Fatry, Veľkej Fatry, Vysokých Tatier, Nízkych Tatier, Slovenského rudohoria a Vihorlatu. Priestorový úhrn zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol 135 mm, čo predstavovalo 321 % normálu a prebytok zrážok 93 mm (Obr.7).

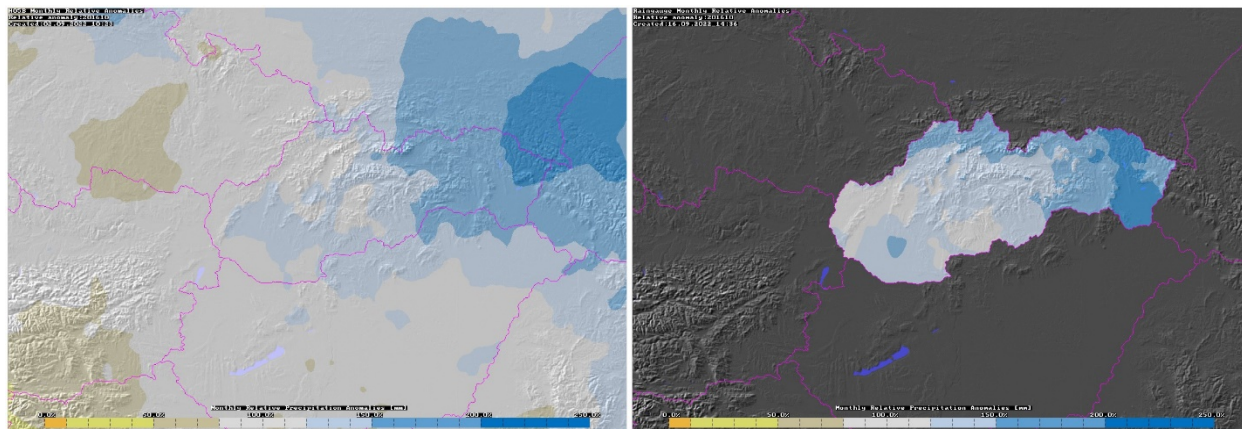
Tabuľka 3. Vyhodnotenie februára 2016 – zrážková charakteristika „vlhký“.

Table 3. Evaluation of February 2016 – precipitation characteristic "wet".

Mesiac	Zdroj	SUCHÝ	NORMÁLNY	VLHKÝ
201602	H05	0,0 %	0,0 %	100,0 %
	RG	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Obrázok 8. Porovnanie mesačnej anomálie pre október 2016. Príklad normálneho mesiaca v západnej časti Slovenska. VTavo – podľa satelitu, vpravo – podľa zrážkomernej siete.

Figure 8. Comparison of the monthly anomaly for October 2016. Example of a normal month in west part of Slovakia. On the left – according to the satellite, on the right – according to the rain gauge network.



Vzorový prípad 2: Október 2016 bol na Slovensku väčšinou zrážkovo nadnormálny. Smerom na severozápad, sever, severovýchod a všeobecne východ Slovenska pribúdali oblasti, kde boli mesačné úhrny atmosférických zrážok silne až mimoriadne nadnormálne (Tab. 4). Na západnom Slovensku a prípadne aj na strednom Slovensku však boli regióny, kde boli tieto úhrny zrážkovo normálne. Mesačné úhrny atmosférických zrážok sa pohybovali väčšinou od tesne menej ako 50 mm na severozápade Záhoria a čiastočne aj v oblasti Trnavy a Veľkého Krtíša do hodnôt okolo 200 mm v Tatrách, v Spišskej Magure, v najvyšších polohách Levočských vrchov, Čergova, Slanských vrchov, Vihorlatu a Nízkych Beskýd. Priestorový úhrn zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol 113 mm, čo predstavuje 185 % normálu a prebytok zrážok 52 mm (Obr. 8).

Tabuľka 4. Vyhodnotenie októbra 2016 – zrážková charakteristika „normálny“ v západnej časti SK.

Table 4. Evaluation of October 2016 – precipitation characteristic "normal" in west part of SK.

Mesiac	Zdroj	SUCHÝ	NORMÁLNY	VLHKÝ
201610	H05	0,0 %	68,9 %	31,1 %
	RG	0,0 %	63,8 %	36,2 %

Vzorový prípad 3: Mesačné úhrny atmosférických zrážok dosiahli na Slovensku v júli 2019 hodnoty, ktoré sa pohybovali v širokom rozsahu, presnejšie od hodnôt tesne nad 10 mm až do viac ako 150 mm. Na mnohých zrážkomerných staniciach to boli hodnoty, ktoré sa výraznejšie neodchýlili od normálu (Tab. 5). Napriek tomu bolo počas väčšej časti júla sucho citelné. Príčinu treba hľadať v tom, že atmosférické zrážky v júli boli často sústredené iba do niekoľkých dní, mali prevažne pôvod v búrkových lejakoch, takže po intenzívnom daždi voda v mnohých prípadoch bez úžitku rýchlo odtiekla. Mesačné úhrny atmosférických zrážok boli v júli 2019 relatívne najnižšie predovšetkým v oblasti na juhozápade Podunajskej nížiny, kde v krajnom prípade nedosiahli ani 15 mm. Naopak, najviac atmosférických zrážok bolo zaznamenaných v niektorých

oblastiach východného Slovenska, kde to bolo miestami viac ako 150 mm. Priestorový úhrn atmosférických zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol v júli 2019 hodnotu 71 mm, čo predstavuje 79 % normálu a deficit zrážok 19 mm (Obr. 9).

Tabuľka 5. Vyhodnotenie júla 2019 – zrážková charakteristika „normálny“.

Table 5. Evaluation of July 2019 – precipitation characteristic "normal".

Mesiac	Zdroj	SUCHÝ	NORMÁLNY	VLHKÝ
201907	H05	0,0 %	100,0 %	0,0 %
	RG	4,4 %	95,5 %	0,0 %

Vzorový prípad 4: Mesačné úhrny atmosférických zrážok dosiahli na Slovensku v marci 2021 hodnoty, ktoré pribúdali od juhu smerom na sever, ale napriek všetkému ich bolo málo a ojedinele boli zaznamenané aj extrémne nízke hodnoty úhrnov atmosférických zrážok v tomto mesiaci. Ich hodnoty sa ocitli prevažne v intervale od pár milimetrov do viac ako 60 mm. Mesačné úhrny atmosférických zrážok boli v marci 2021 najnižšie na niektorých miestach na juhu Podunajskej nížiny, kde dosiahli v kritických prípadoch iba 1 až 2 mm (Tab. 6). Naopak, najviac atmosférických zrážok zaznamenali v marci 2021 na horách v severnej polovici stredného Slovenska a v Tatrách, kde to bolo na zrážkovo najexponovanejších miestach aj viac ako 60 mm. Priestorový úhrn atmosférických zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol v marci 2021 hodnotu 19 mm, čo predstavuje 40 % normálu a deficit zrážok 28 mm (Obr. 10).

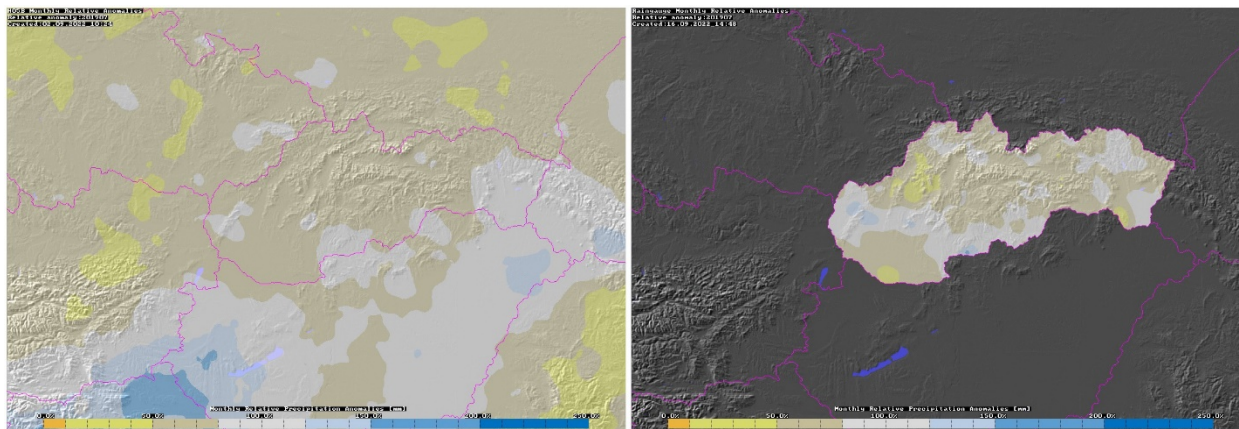
Tabuľka 6. Vyhodnotenie marca 2021 – zrážková charakteristika „suchý“.

Table 6. Evaluation of March 2021 – precipitation characteristic "dry".

Mesiac	Zdroj	SUCHÝ	NORMÁLNY	VLHKÝ
202103	H05	99,4 %	0,6 %	0,0 %
	RG	60,5 %	39,5 %	0,0 %

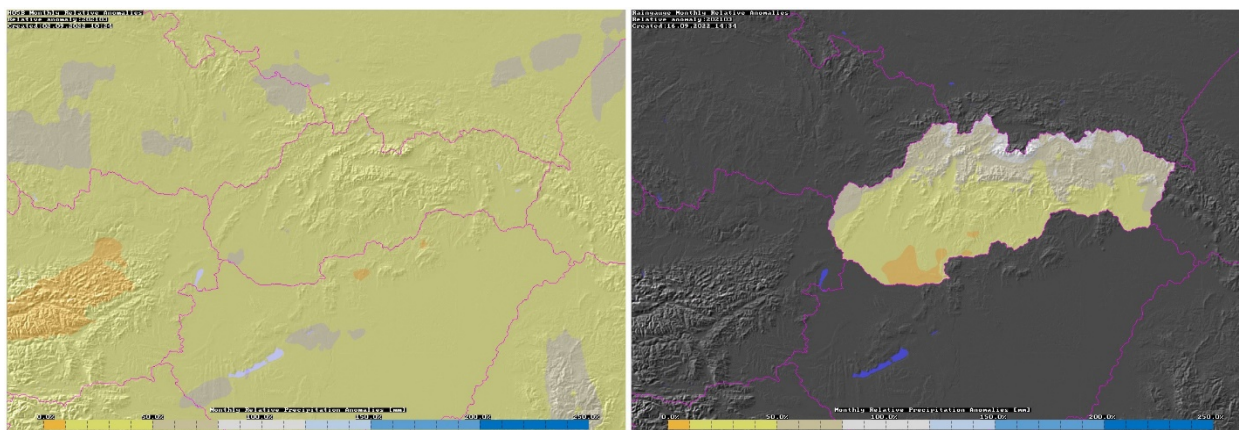
Obrázok 9. Porovnanie mesačnej anomálie pre júl 2019. Príklad normálneho až suchého mesiaca. Vľavo – podľa satelitu, vpravo – podľa zrážkomernej siete.

Figure 9. Comparison of the monthly anomaly for July 2019. Example of a normal to dry month. On the left – according to the satellite, on the right – according to the rain gauge network.



Obrázok 10. Porovnanie mesačnej anomálie pre marec 2021. Príklad suchého mesiaca. Vľavo – podľa satelitu, vpravo – podľa zrážkomernej siete.

Figure 10. Comparison of the monthly anomaly for March 2021. Example of a dry month. On the left – according to the satellite, on the right – according to the rain gauge network.



Vzorový prípad 5: V apríli 2022 (Tab. 7) sa vyskytlo na Slovensku viac atmosférických zrážok ako v marci, ale vzhľadom na nedostatok zrážok v predchádzajúcich mesiacoch to nebolo dosť na zmenšovanie deficitu zrážok. V druhom jarnom mesiaci roka 2022 bolo najmenej zrážok na Slovensku v niektorých oblastiach Žitného ostrova, kde za celý mesiac v niektorých lokalitách nezaznamenali ani 15 mm zrážok. Situácia však už bola priaznivejšia na krajnom juho-východe Podunajskej nížiny, kde ojedinele dosiahli úhrny zrážok za celý apríl aj tesne viac ako 50 mm. Podobne vysoké mesačné úhrny zrážok boli v tomto mesiaci zaregistrované aj na viacerých miestach stredného a východného Slovenska, pričom v zrážkovo najexponovanejších regiónoch zaznamenali v apríli viac ako 100 mm zrážok (niektoré časti Tatier a Nízkych Tatier, ojedinele aj nižšie polohy Oravy). Priestorový úhrn atmosférických zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol v apríli 2022 hodnotu 48 mm, čo predstavuje 87 % normálu a deficit zrážok 7 mm (Obr. 11).

Tabuľka 7. Vyhodnotenie apríla 2022 – zrážková charakteristika „normálny“.

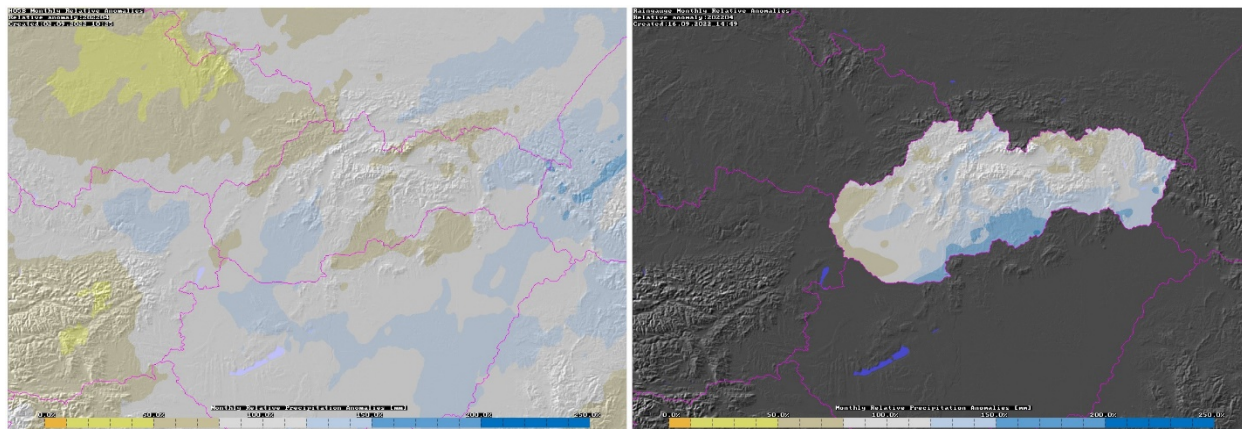
Table 7. Evaluation of April 2022 – precipitation characteristic "normal".

Mesiac	Zdroj	SUCHÝ	NORMÁLNY	VLHKÝ
202204	H05	0,0 %	99,9 %	0,1 %
	RG	0,0 %	92,1 %	7,9 %

Vzorový prípad 6: V júni 2022 (Tab. 8) ovplyvňovali na Slovensku pole mesačných úhrnov atmosférických zrážok predovšetkým búrky. Vplyvom búrkových lejakov boli mesačné úhrny zrážok priestorovo dosť premenlivé. V tomto prvom letnom mesiaci zaznamenali viac zrážok na západnom Slovensku, obzvlášť na krajnom juhozápade Slovenska, a mimoriadne málo zrážok bolo v júni 2022 na veľkej časti východného Slovenska, ale niekde aj na Horehroní a tiež juhu stredného Slovenska. Najvyššie mesačné úhrny atmosférických zrážok zaregistrovali v júni

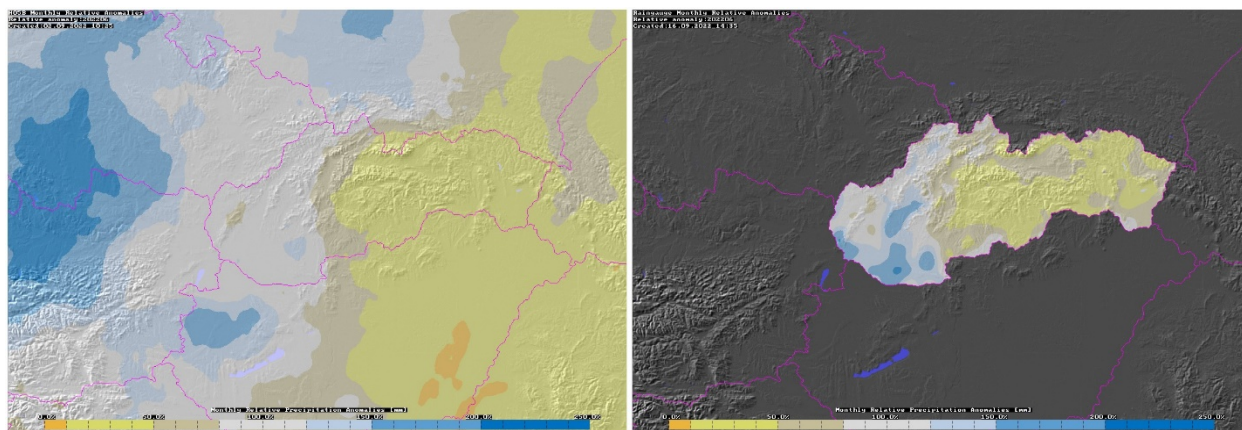
Obrázok 11. Porovnanie mesačnej anomálie pre apríl 2022. Príklad normálneho mesiaca. Vľavo – podľa satelitu, vpravo – podľa zrážkomernej siete.

Figure 11. Comparison of the monthly anomaly for April 2022. Example of a normal month. On the left – according to the satellite, on the right – according to the rain gauge network.



Obrázok 12. Porovnanie mesačnej anomálie pre jún 2022. Príklad normálneho mesiaca v západnej, suchého vo východnej časti Slovenska. Vľavo – podľa satelitu, vpravo – podľa zrážkomernej siete.

Figure 12. Comparison of the monthly anomaly for June 2022. Example of month normal in west, dry in east part of Slovakia. On the left – according to the satellite, on the right – according to the rain gauge network.



2022 v južnej časti Záhoria, kde to ojedinele bolo aj viac ako 150 mm (napr. Stupava 170 mm). Najnižšie mesačné úhrny atmosférických zrážok v júni 2022 na východnom Slovensku a na juhu stredného Slovenska dosiahli v niektorých lokalitách iba okolo 10 mm. Priestorový úhrn atmosférických zrážok pre celé územie Slovenska dosiahol v júni 2022 hodnotu 48 mm, čo predstavuje 56 % normálu a deficit zrážok 38 mm (Obr. 12).

Tabuľka 8. Vyhodnotenie júna 2022 – zrážková charakteristika „suchý v západnej polovici územia“.

Table 8. Evaluation of June 2022 – precipitation characteristic "dry in west part of Slovakia".

Mesiac	Zdroj	SUCHÝ	NORMÁLNY	VLHKÝ
202206	H05	50,2 %	49,8 %	0,0 %
	RG	74,9 %	25,1 %	0,0 %

HODNOTENIE CELÉHO 10-ROČNÉHO OBDOBIA 2012 – 2022

Hodnotenie celého 10-ročného obdobia po mesiacoch sme uskutočnili tak, že sme jednotlivé mesiace najprv oklasifikovali podľa tried uvedených v Tab. 2 tak pre úhrny zrážok zo satelitných produktov (Tab. 9), ako aj pre úhrny zo zrážkomernej siete SHMÚ (Tab.10).

Porovnaním výsledkov v tabuľkách 9 a 10 sme získali rozdielovú tabuľku zobrazujúcu podhodnocovanie, zhodu, alebo nadhodnocovanie úhrnov zrážok satelitnými produktami oproti zrážkomernej siete (Tab.11). Mesiace označené v tabuľke zelenou farbou (hodnota 0) dosiahli zhodu oboch zdrojov údajov o zrážkach v 93 prípadoch, mesiace označené žltou farbou (hodnota -1) vykázali podhodnotenie úhrnu zrážok podľa satelitu v 13 prípadoch a mesiace označené ružovou farbou (hodnota +1) vykázali nadhodnotenie úhrnu zrážok podľa satelitu v 14 prípadoch.

Tabuľka 9. Klasifikácia mesiacov v období júl 2012 až jún 2022 podľa definície (1) SUCHÉ, (2) NORMÁLNE, (3) VLNKÉ: podľa satelitných mesačných úhrnov zrážok H SAF.

Table 9. Classification of months in the period July 2012 to June 2022 by definition (1) DRY, (2) NORMAL, (3) WET: According to satellite, monthly rainfall totals H SAF.

rok/mesiac	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Január	nodata	3	3	3	2	2	1	2	2	2	1
Február	nodata	2	2	2	3	1	2	1	3	2	1
Marec	nodata	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Apríl	nodata	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2
Máj	nodata	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Jún	nodata	2	2	2	3	2	3	2	3	1	1
Júl	3	1	3	2	3	2	2	2	2	2	2
August	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	nodata
September	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	nodata
Október	3	2	2	2	2	2	1	1	3	1	nodata
November	2	2	2	3	2	1	1	3	1	2	nodata
December	3	1	2	2	2	1	2	3	2	2	nodata

Tabuľka 10. Klasifikácia mesiacov v období júl 2012 až jún 2022 podľa definície (1) SUCHÉ, (2) NORMÁLNE, (3) VLNKÉ: podľa mesačných úhrnov zrážok zo zrážkomernej siete SHMÚ.

Table 10. Classification of months in the period July 2012 to June 2022 by definition (1) DRY, (2) NORMAL, (3) WET: according to monthly rainfall totals from SHMÚ raingauge network.

rok/mesiac	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Január	nodata	3	2	3	2	2	2	2	1	2	1
Február	nodata	3	2	2	3	2	2	1	2	2	2
Marec	nodata	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2
Apríl	nodata	2	2	2	2	3	2	2	1	2	2
Máj	nodata	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1
Jún	nodata	3	2	2	2	2	3	2	3	1	2
Júl	2	1	3	2	3	2	2	2	2	2	nodata
August	1	2	3	1	2	2	2	2	2	3	nodata
September	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	nodata
Október	2	1	2	2	2	2	2	1	3	1	nodata
November	2	2	2	2	2	2	1	3	1	2	nodata
December	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	nodata

Tabuľka 11. Porovnanie odhadov mesačných úhrnov zrážok zo satelitných produktov H SAF a zo zrážkomernej siete SHMÚ: (0) zhoda, (-1) podhodnotenie satelitným produktom, (1) nadhodnotenie satelitným produktom.

Table 11. Comparison of H SAF products and raingauge network estimations of monthly rain characteristics: (0) Agreement, (-1) Under estimation by satellite product, (1) Over estimation by satellite product.

rok/mesiac	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Január	nodata	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	0
Február	nodata	-1	0	0	0	-1	0	0	1	0	-1
Marec	nodata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Apríl	nodata	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
Máj	nodata	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Jún	nodata	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	-1
Júl	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	nodata
August	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	nodata
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	nodata
Október	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	nodata
November	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	nodata
December	1	0	0	1	1	-1	0	1	0	0	nodata

DISKUSIA A ZÁVER

V našej práci sme ukázali, že satelitné produkty majú z dlhodobého hľadiska dostatočne vysokú výpovednú hodnotu pri klasifikovaní suchých a vlhkých období na mesačnej báze. V porovnaní mesačných úhrnov zrážok zo satelitných produktov so slovenskou sieťou zrážkomerov za obdobie Júl 2012 až Jún 2022 sme v 13 prípadoch zistili podhodnotenie, v 14 prípadoch nadhodnotenie a vo väčšine, teda v 93 prípadoch zhodu v zmysle klasifikačnej tabuľky pre definíciu suchých, normálnych a vlhkých období. Pomocou získaných 10-ročných normálov hodnotíme priebežne aktuálne mesiace a výsledky po júni 2022. Výsledky za obdobie júl 2022 až február 2023 už sú dostupné na intranete SHMÚ. Ich využiteľnosť sa preukáže v krátkej budúcnosti, resp. na základe nových skúseností budeme prispôbovať metodiku spracovania satelitných údajov.

Podakovanie

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

Satelitné údaje pre štúdiu boli získané v rámci projektu EUMETSAT H SAF, v ktorom participuje SHMÚ ako člen konzorcia s úlohami kontroly kvality produktov a ich hydrologickej validácie.

REFERENCIE

- Kaňák, J.–Okon, L.–Madara, M.–Jurašek, M.–Méri, L.–Hrušková, K.–Zvolenský, M., Satelitné produkty na SHMÚ s potenciálom monitoringu zrážok a sucha. *Meteorologický časopis/Meteorological Journal, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava. December 2021. Ročník 24 – číslo 2/Vol. 24 – No. 2. Jeséniova 17, P.O.Box 15, 833 15 Bratislava 37, IČO 00 156 884, R. č. MK SR: 3268/09, ISSN 1335-339X.*
https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/1641565957_MC_2021-2.pdf.
- ATBD H01 - Algorithms Theoretical Baseline Document - ATBD-01 new rel.: Precipitation rate at ground by MW conical scanners. EUMETSAT, Doc. No: SAF/HSAF/ATBD-01new rel., 31/05/2013.
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-01_new_rel_2_1.pdf&tipo=ATBD.
- ATBD H02B - Algorithm Theoretical Baseline Document for product P-IN-MHS (H02B) P-IN-MHS - Precipitation rate at ground by MW cross-track scanners. EUMETSAT, Doc. No: SAF/HSAF/ATBD-02B, 01/03/2019.
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=saf_hsaf_atbd-02b_1_2.pdf&tipo=ATBD.
- ATBD H03B - Algorithm Theoretical Baseline Document for product H03B – P-IN-GRU-SEVIRI Precipitation rate at ground by GEO/IR supported by LEO/MW. EUMETSAT, Doc. No: SAF/HSAF/ATBD-3B, 08/09/2017.
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-03B_1_2.pdf&tipo=ATBD.
- ATBD H05B - Algorithm Theoretical Baseline Document for product H05B/P-AC-G-SEVIRI: Accumulated precipitation at ground by blended MW and IR. EUMETSAT, Doc. No: SAF/HSAF/ATBD-05B, Rel. 1.2, 08/09/2017.
https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-05B_1_2.pdf&tipo=ATBD.
- Kaňák, J.–Okon, L.–Méri, L.–Jurašek, M.–Zvolenský, M.–Hrušková K., Space Meteorology in Slovakia. Chapter in *Space Research in Slovakia 2014-2015*, Slovak Academy of Sciences, COSPAR Slovak National Committee. CopyCenter Košice, April 2016, ISBN 978-80-89656-09-7. EAN 9788089656097. <http://nccospar.saske.sk/REPORT20142015/SPACERESEARCHINSLOVAKIA20142015.pdf>.
- Kaňák, J.–Okon, L.–Méri, L.–Jurašek, M., Space Meteorology. Chapter in: *SPACE RESEARCH IN SLOVAKIA 2016 – 2017*. Slovak Academy of Sciences, COSPAR Slovak National Committee. CopyCenter Košice, April 2018, ISBN 978-80-89656-22-3. EAN 9788089656226.
<http://nccospar.saske.sk/REPORT20162017/SPACERESearchINSLOVAKIA20162017.pdf>.
- Kaňák, J.–Okon, L.–Méri, L.–Jurašek, M., Space Meteorology. Chapter in: *SPACE RESEARCH IN SLOVAKIA 2018 – 2019*. National Committee of COSPAR in Slovak Republic, Slovak Academy of Sciences. Slovak Central Observatory, Hurbanovo, May 2020, ISBN 978-80-89998-09-8.
<http://nccospar.saske.sk/REPORT20182019/SPACERESearchINSLOVAKIA20182019.pdf>.
- Laviola, S.–Moscatello, A.–Miglietta, M.–Cattani, E.–Levizzani, V., 2011, Satellite and Numerical Model Investigation of Two Heavy Rain Events over the Central Mediterranean. *Journal of Hydrometeorology*, Vol 12, 634 – 649.
- Levizzani, V.–Laviola, S.–Cattani, E.–Costa, M.J., 2013, Extreme Precipitation on the Island of Madeira on 20 February 2010 As Seen by Satellite Passive Microwave Sounders. *European Journal of Remote Sensing*, Vol 46, 475 – 489.
- Petracca, M.–D'Adderio, L.P.–Porcu, F.–Vulpiani, G.–Sebastianelli, S.–Puca, S., 2018, Validation of GPM dual-frequency precipitation radar (DPR) rainfall products over Italy, *Journal of Hydrometeorology*, Vol 19, 907 – 925.
- Petracca, M.–Kaňák, J.–Porcu, F.–Iwanski, R.–Lapeta, B.–Diószeghy, M.–Szenyán, I.–Baguis, P.–Roulin, E.–Oztopal, A.–Krahe, P.–Kunkel, A.–Artinian, E.–Chervenkov, H.–Cacciamani, C.–Toniazio, A.–Vulpiani, G.–Puca, S., Results of comparison between Precipitation estimates by MW scanner and dual-frequency precipitation satellite radar according H SAF validation methodology over MSG full-disk area. Joint EUMETSAT/AMS/NOAA Conference 2019, Boston, USA, 30 September – 4 October 2019. Conference poster. Abstract link: <https://ams.confex.com/ams/JOINTSATMET/meetingapp.cgi/Paper/360562>
- Puca, S.–Porcu, F.–Rinollo, A.–Vulpiani, G.–Baguis, P.–Balabanova, S.–Campione, E.–Erturk, A.–Gabellani, S.–Iwanski, R.–Jurašek, M.–Kaňák, J.–Kerényi, J.–Koshinchinov, G.–Kozinarova, G.–Krahe, P.–Lapeta, B.–Lábó, E.–Milani, L.–Okon, L.–Oztopal, A.–Pagliara, P.–Pignone, F.–Rachimow, C.–Rebora, N.–Roulin, E.–Sönmez, I.–Toniazio, A.–Biron, D.–Casella, D.–Cattani, E.–Dietrich, S.–Di Paola, F.–Laviola, S.–Levizzani, V.–Melfi, D.–Mugnai, A.–Panegrossi, G.–Petracca, M.–Sanò, P.–Zauli, F.–Rosci, P.–De Leonibus, L.–Agosta, E.–Gattari, F., The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products, *Nat. Hazards Earth Syst. SCI.*, 14, 871 – 889, Doi:10.5194/NHESS-14-871-2014.
- Rinollo, A.–Vulpiani, G.–Puca, S.–Kaňák, J.–Lábó, E.–Okon, L.–Roulin, E.–Cattani, E.–Laviola, S.–Levizzani, V., 2013, Definition and impact of a quality index for radar-based reference measurements in the H-SAF precipitation product validation, *Nat. Hazards Earth Syst. SCI.*, 13, 2695 – 2705.
- Sanò, P.–Panegrossi, G.–Casella, D.–Di Paola, F.–Milani, L.–Mugnai, A.–Petracca, M.–Dietrich, S. The Passive microwave Neural network Precipitation Retrieval (PNPR) algorithm for AMSU/MHS observations: description and application to European case studies. Article in *Atmospheric Measurement Techniques*, February 2015, DOI: 10.5194/amt-8-837-2015.
- Sebastianelli, S., Quantitative precipitation estimates from dual-polarization weather radar in Lazio region H02 vs DPR comparison software, doktorandská práca: <https://www.scribd.com/document/409633650/Tesi-Dottorato-Stefano-Sebastianelli-pdf>.
- Web SHMÚ: mesačné mapy, mesačný úhrn zrážok v % normálu, 2023: https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=klimat_mesacnemapy&rok=2023&mesiac=1&typ=3
- Web SHMÚ: mesačné mapy, mesačný úhrn zrážok (R), 2022: https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=klimat_mesacnemapy&rok=2022&mesiac=4&typ=2.
- Bulletin meteorológia a klimatológia, Slovenská republika, číslo 6/2022, ročník 28: <https://www.shmu.sk/sk/?page=1613&id=&rok=2022&mesiac=6>.
- Mitáš, L.–Mitášová, H., 1988, General variation approach to the interpolation problem. *Computers and Mathematics with Applications* 16: 983 – 92.
- Mitáš, L.–Mitášová, H., 1999, Spatial Interpolation. In Longley P A, Goodchild M F, Maguire D J and Rhind D W (eds) *Geographical Information Principles, Techniques, Management and Applications*. New York, Wiley: 481 – 92.

PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE ATMOSFÉRICKÝCH ZRÁŽOK NA SLOVENSKU POČAS RÔZNYCH TYPOV SYNOPTICKÝCH SITUÁCIÍ V OBDOBÍ 1991 – 2020

MARTIN HALAJ¹, PETER ZAUJEC^{2,3}

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica

² Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava

³ Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

This paper contains the analysis of the spatial distribution of average annual precipitation totals during individual types of synoptic situations in the main river basins of Slovakia in the period 1991 – 2020. Precipitation fields were created using the Topo to Raster interpolation method. The resulting data indicate a different spatial distribution of precipitation during individual types of situations. The different influence of orography, which primarily causes the specific flow direction of an individual type of situation, causes mainly different precipitation totals even in the main river basins of Slovakia.

Práca obsahuje analýzu priestorového rozloženia priemerných ročných úhrnov zrážok počas jednotlivých typov synoptických situácií v hlavných povodiach Slovenska v období rokov 1991 – 2020. Zrážkové polia boli vytvorené použitím interpolačnej metódy Topo to Raster. Výsledné údaje poukazujú na rozdielnu priestorovú distribúciu zrážok v priebehu jednotlivých typov situácií. Rôzny vplyv orografie, ktorý spôsobuje predovšetkým špecifický smer prúdenia konkrétnych typov situácií, do značnej miery zapríčiňuje rozdielne množstvo úhrnov zrážok v hlavných povodiach Slovenska.

Key words: interpolation methods, windward and leeward positions, spatial precipitation distribution, cyclonic situations

ÚVOD

Hoci územie Slovenska nie je rozsiahle z hľadiska rozlohy, v prejavoch počasia zaznamenávame pomerne výrazné rozdiely. Pri podnebnnej charakteristike územia Slovenskej republiky vychádzame z jeho geografickej polohy v strednej Európe. Z pohľadu globálnej klimatickej klasifikácie patrí do severného mierneho klimatického pásma. Typickým prejavom je striedanie vzduchových hmôt s rozdielnymi vlastnosťami v priebehu roka. Klimatické pomery ovplyvňuje prevládajúce západné prúdenie vzduchu v miernych šírkach medzi kvázistacionárnymi tlakovými útvarmi: Azorskou tlakovou výšou a Islandskou tlakovou nížou. Pravdepodobne najpremenlivejším klimatickým prvkom sú atmosférické zrážky, spoločne s teplotou vzduchu. Množstvo zrážok sa spravidla vo väčšine prípadov zvyšuje so stúpajúcou nadmorskou výškou (ide o tzv. orografické nárast zrážok).

Charakter a priestorová distribúcia zrážok závisí aj od smeru prúdenia, ktoré ich prináša. Vzhľadom na relatívnu nestabilitu a premenlivosť poveternostných podmienok dochádza k častému striedaniu rôznych typov cyklonálnych situácií počas roka, pričom prevládajúce situácie sú zo západných smerov. Jednotlivé cyklonálne situácie majú svoje charakteristické prejavy, ako napr. rôzne rozloženie zrážkového poľa a rozdielnu intenzitu zrážok (SHMÚ, 2022). Poznanie vlastností jednotlivých cyklonálnych situácií, ktoré sú potenciálnym rizikom pre vznik intenzívnych zrážok a následných povodňových udalostí, je dôležité z viacerých dôvodov. Takéto informácie sú priamo aplikovateľné napr. pre Odbor Hydrologické predpovede a výstrahy SHMÚ (OHPaV SHMÚ). Zistené poznatky sú rovnako nápomocné aj pre Odbor Meteorologické predpo-

vede a výstrahy SHMÚ (OMPaV SHMÚ). Detailná analýza vlastností všetkých typov cyklonálnych situácií na území Slovenska je témou, ktorá v tejto podobe doteraz nebola komplexne spracovaná. V neposlednom rade sú takéto analýzy užitočné aj v kontexte s prebiehajúcou globálnou klimatickou zmenou, ktorá v nemalej miere ovplyvňuje (a naďalej bude ovplyvňovať) aj naše územie. Vzhľadom na uvedené, ďalšou z možností aplikovania týchto poznatkov je aj oblasť agroklimatológie – v prípade, ak berieme na zreteľ časopriestorovú distribúciu vlhky a náročnosť pestovania jednotlivých poľnohospodárskych plodín na našom území.

Analýzou a hodnotením atmosférických zrážok na našom území sa zaoberalo množstvo autorov. V prehľadnom tabuľkovom a mapovom formáte sú spracované dlhodobé úhrny zrážok v období 1901 – 1970 autormi Šamaj a Valovič (1981). Spracovanie zrážkových pomerov v období rokov 1961 – 1990 nachádzame v Atlase krajiny Slovenskej republiky (2002). V Klimatickom atlase Slovenskej republiky (2015) sú publikované dlhodobé úhrny zrážok v rokoch 1961 – 2010. Tieto hodnotenia sú charakterizované z hľadiska dlhodobých priemerných úhrnov zrážok.

Rozloženie a premenlivosť zrážkových úhrnov vplyvom členitého reliéfu boli predmetom výskumu predovšetkým v hornatejších regiónoch Slovenska. V rozsiahlej publikácii Klíma Tatier (Konček et al., 1974) je zdôraznený vplyv pohoria na úhrny zrážok. Väčší vplyv na množstvo zrážok než nadmorská výška má jeho orientácia voči prevládajúcemu prúdeniu. Autori poukazujú na rozdielne zrážkové úhrny medzi náveternou a záveternou stranou pohoria. Brázdil s Faškom (1993) na vybraných horizontálnych prierezoch naprieč územím Slovenska analyzujú vplyv pohoria na výskyt náveterných a záveterných polôh.

Charakterizujú rozloženie zrážok počas letného a zimného polroka na základe prúdenia v hladine 850 hPa. Basist et al. (1993) poukázal na vzťah medzi rozložením zrážok a vplyvom pohoria na báze štatistických ukazovateľov. Vplyv pohoria na priestorovú distribúciu zrážok na Pyrenejskom polostrove skúmal Sotillo et al. (2003). Vplyv atmosféricko-oceánických väzieb a cirkulačných procesov na podnebie strednej Európy je daný prostredníctvom rôznych procesov. Najvýznamnejším z nich je tzv. Severoatlantická oscilácia, jej princíp spočíva na rozložení tlakových útvarov nad Atlantickým oceánom. Analýzou vzťahu NAO a úhrnov zrážok na území Slovenska (s dôrazom na zimný polrok) sa zaoberali Lešková et al. (2012). Sezónnu distribúciu úhrnov zrážok v jednotlivých štátoch USA vo vybraných dekádach minulého storočia analyzovali Finkelstein a Truppi (1991). Brádka (1972) opísal rozloženie zrážok pri jednotlivých typoch poveternostnej situácie na území ČSSR. Spojitosť cirkulačných procesov s režimom atmosférických zrážok na Slovensku v minulosti analyzovali Brádkil a Štekl (1986). Analýzu synoptických situácií a ich prejavov možno upriamiť aj na prepojenie s odtokovým režimom povodí. Týmto vzťahom sa v minulosti venoval Panenka (1980) v práci Synoptické situácie vo vzťahu k mimoriadnym zmenám v odtoku.

Hlavným cieľom tejto práce je mapové spracovanie priemerných ročných úhrnov zrážok v hlavných povodiach Slovenska počas jednotlivých cyklonálnych poveternostných situácií v období rokov 1991 – 2020 pomocou vhodnej interpolačnej metódy v prostredí GIS.

VSTUPNÉ DÁTA A METÓDY SPRACOVANIA

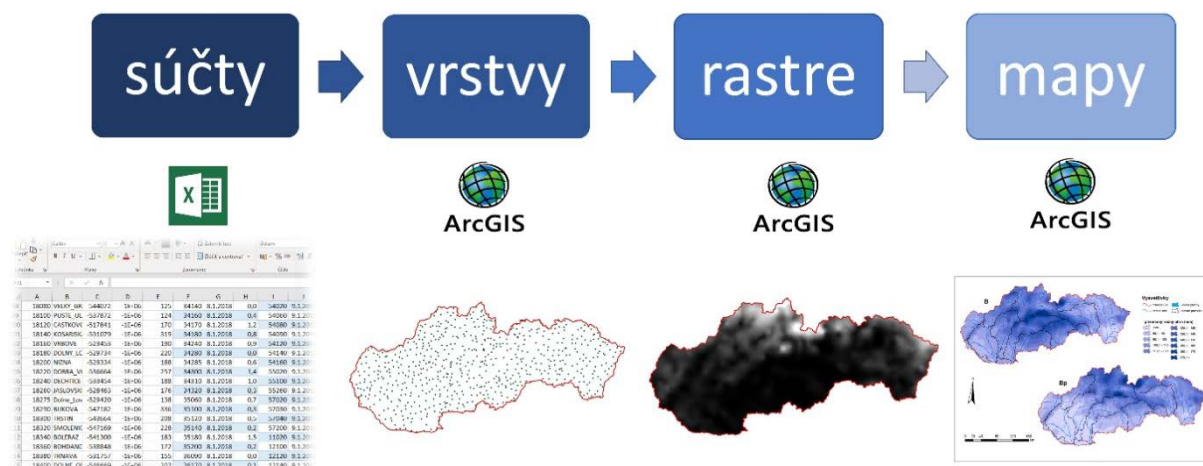
Základom analýzy priestorového rozloženia úhrnov zrážok boli údaje zo siete zrážkomerných staníc SHMÚ na celom území Slovenska v období rokov 1991 – 2020. Staničná sieť mala v skúmanom období rokov 1991 – 2020 k dispozícii 798 staníc, pričom každý rok sa na približne 600 staniciach stabilne merali úhrny zrážok. Sieť staníc je relatívne rovnomerne rozložená s výnimkou najvyššie položených oblastí Slovenska.

Predmetom hlavného spracovania boli 24-hodinové úhrny zrážok termínované k siedmej hodine nasledujúceho dňa. Kvôli experimentálnemu získaniu priemerného ročného úhrnu zrážok pre všetky anticyklonálne situácie sme pracovali aj s ročnými úhrnmi zrážok. Doplnkovým, ale dôležitým údajom boli geografické súradnice, indikatívy a názvy zrážkomerných staníc. Získané a revidované zrážkové úhrny boli triedené v prostredí softvéru Office Excel na základe jednotlivých cyklonálnych typov podľa Kalendára poveternostných situácií, vychádzajúceho z Katalógu poveternostných situácií (1968) voľne dostupného na stránke SHMÚ. V porovnaní s predchádzajúcimi analýzami bol metodický postup zachovaný, avšak pri procese sčítavania boli vynechané úhrny zrážok v dni pred výskytom danej cyklonálnej situácie, aby nedošlo k ich duplicite. Úhrny zrážok vytriedené podľa 15 cyklonálnych typov a jednotlivých rokov boli ďalej spracovávané v programe ArcGIS pre tvorbu bodových vrstiev. Zjednodušená schéma je znázornená na Obr. 1. Dôležitým krokom pre získanie výsledného produktu - v našom prípade rastrových máp zrážkových úhrnov vhodných na využitie pri zrážkovo-odtokových modeloch, je výber interpolačnej metódy.

Čiastkové úhrny zrážok počas jednotlivých cyklonálnych situácií sa v rôznej miere podieľajú na celkovom úhrne zrážok. Sčítaním čiastkových úhrnov zrážok počas jednotlivých typov cyklonálnych situácií však nedostaneme 100 % hodnotu celkového úhrnu zrážok. Dôvodom je najmä fakt, že nižšie, no nie zanedbateľné malé množstvo zrážok bolo zaznamenané v dňoch, kedy bol klasifikovaný anticyklonálny typ poveternostnej situácie (napr. počas doznievajúcich frontálnych systémov, prípadne ojedinelých konvektívnych zrážok, najmä počas letného polroka – tzv. prehánky/búrky vo vnútri vzduchovej hmoty). Preto sme sa rozhodli spracovať rovnakou interpolačnou metódou aj dáta celkových ročných úhrnov zrážok a získať tak mapu priemerného ročného úhrnu zrážok v období 1991 – 2020. Následne sme od tejto mapy odčítali všetky sčítané typy máp priemerných úhrnov zrážok jednotlivých cyklonálnych situácií a experimentálne tak dostali výslednú mapu priemerných ročných úhrnov zrážok pre všetky anticyklonálne typy situácií dokopy.

Obrázok 1. Zjednodušená schéma spracovania dát do mapovej podoby.

Figure 1. A simplified scheme of data processing into map form.



Interpoláčn  metody

Priestorov  interpretácia atmosférických zr zok je z hľadiska poznania a prístupu ku krajine a jej zložkám dôležitým procesom. Základnou úlohou interpolácie je priestorov  interpretácia údajov do území, kde je sk man  premenn  neznáma. Vyu ziv j  sa pritom informácie zo známých meraných hodnôt, napr.  hrnov zr zok zo siete zr zkomern ch staníc (Parajka, 2001). V skutočnosti je priestorov  informácia častokrát problematick . Spracovanie priestorovej informácie o úhrnoch zr zok z bodových meran  nie je aj napriek dostupnosti techniky a funkčnosti geografických informa n ch systémov (GIS) a ich nástrojov z krátkodobého aj dlhodobého hľadiska jednoduch . Väčšina meran  je dlhodobých, avšak sú rozpt ylen  v priestore s pomerne veľkými vzájomnými vzdialenosťami. V mnohých prípadoch chýbajú merania práve tam, kde sú najviac potrebn  (Vincente-Serrano et al., 2003). V našich podmienkach ide predovšetkým o vysokohorsk  polohy. Od čias existencie a vyu zivania GIS bolo vyvinutých a analyzovaných množstvo interpol n ch metodě. Nie všetky sú však rovnako vhodné pre interpolovanie bodových úhrnov zr zok. Interpol  n  metody môžeme del t do dvoch skupín: s deterministickými a stochastickými algoritmami (Parajka, 2001). Pri deterministickom prístupu sú váhy bodov  r ovan  na základe geometrického rozloženia známých bodov. Stochastick  interpol  n  metody vyu ziv j  geoštatistické analýzu kovariancie bodových meran  na  r enie v h medzi bodmi (Parajka, 2001).  er l (2008) ako najčastejšie vyu ivan  metody pre interpoláciu bodových údajov  v dza metodu inverzne v azen ch vzdialeností (IDW), metodu ordin rneho krigingu (s teoretickým sférickým modelom semivariogramu), d alej metodu Topo to Raster, metodu korekcie radarového poľa zr zok a metodu tzv. orografickej interpolácie.

Jednotlivé metody spracovania priestorových interpol ci  úhrnov zr zok sa odlišujú ich matematickými definíciami, nastaveniami vstupných parametrov a metodickými postupmi. V práci Mikulovej (2010) bola op san  a hodnoten  štvorica interpol n ch metodě využitelných pre spracovanie klimatologických prvkov, konkrétne metoda najbližšieho suseda (Nearest Neighbour), IDW metoda, metoda regularizovaného splajnu a kriging. Pecusov  et al. (2004) vyu iva kombinovan  metodu v  skov ho gradientu a inverzne v azenej vzdialenosti a metodu kriging s externým driftom na získanie m p priestorového rozdelenia priemerných denných úhrnov zr zok a teplôt vzduchu pre povodie Hrona a jeho 15 subpovodi . V práci Parajku (2001) sú pre vyjadrenie dlhodobého priemerného ročného odtoku na Slovensku s využitím prostredia vybraných geografických informa n ch systémov teoreticky vyjadren  a analyzovan  jednotlivé interpol  n  metody počnúc od tých najjednoduchších. Do veľkej miery identick  analýzy interpol n ch metodě možno nájsť aj v iných reg onoch sveta. V stredných častiach povodia španielskej rieky Ebro, kde sú pomerne v razn  klimatick  rozdiely na malom území, boli porovnaní viacer  druhy a skupiny interpol n ch metodě na príklade dvoch premenných – priemerných ročných úhrnov zr zok a teploty vzduchu (Vincente-Serrano et al., 2003). Keblouti et al. (2012) porovn v j  a hodnotia vybran  deterministick  a stochastick  interpol  n  metody v okolí pobrežného mesta Annaba vo

východnej časti Al  rska. Účelom tejto analýzy je vybrať najvhodnejšiu metodu pre identifikáciu priestorových úhrnov zr zok. V skúmanom reg one s nízkou hustotou staničnej siete sa ako najvhodnej  ia ukázala interpol  n  metoda IDW. Analýza priemerného úhrnu zr zok a ich premenlivosti v Bulharsku na skúmanom období rokov 2000–2004 (referen n  obdobie 1961–1990) je rozsiahla z hľadiska počtu porovnan v ch metodě. T to práca je zameran  aj na implementáciu rozdielných interpol  n ch metodě pri analýze meteorologických dát vo väčšej časti Podunajskej nížiny (Nikolova a Vassilev, 2006). Nami zvolen m interpol  n m procesom bola modifikovan  spline metoda Topo to Raster. Jej spusteniu predchádzalo nastavenie parametrov, ktor  vychádzali z doterajších zau ivan ch nastaven  v prechádzajúcich analýzach. Vzhľadom na rozsah dát sa na interpoláciu bodových údajov vyu il časovo nen ro n  postup pomocou skriptu v programe Python. Fin ln   prava výsledných rastových vrstiev prebiehala pomocou nástrojov mapovej algebry.

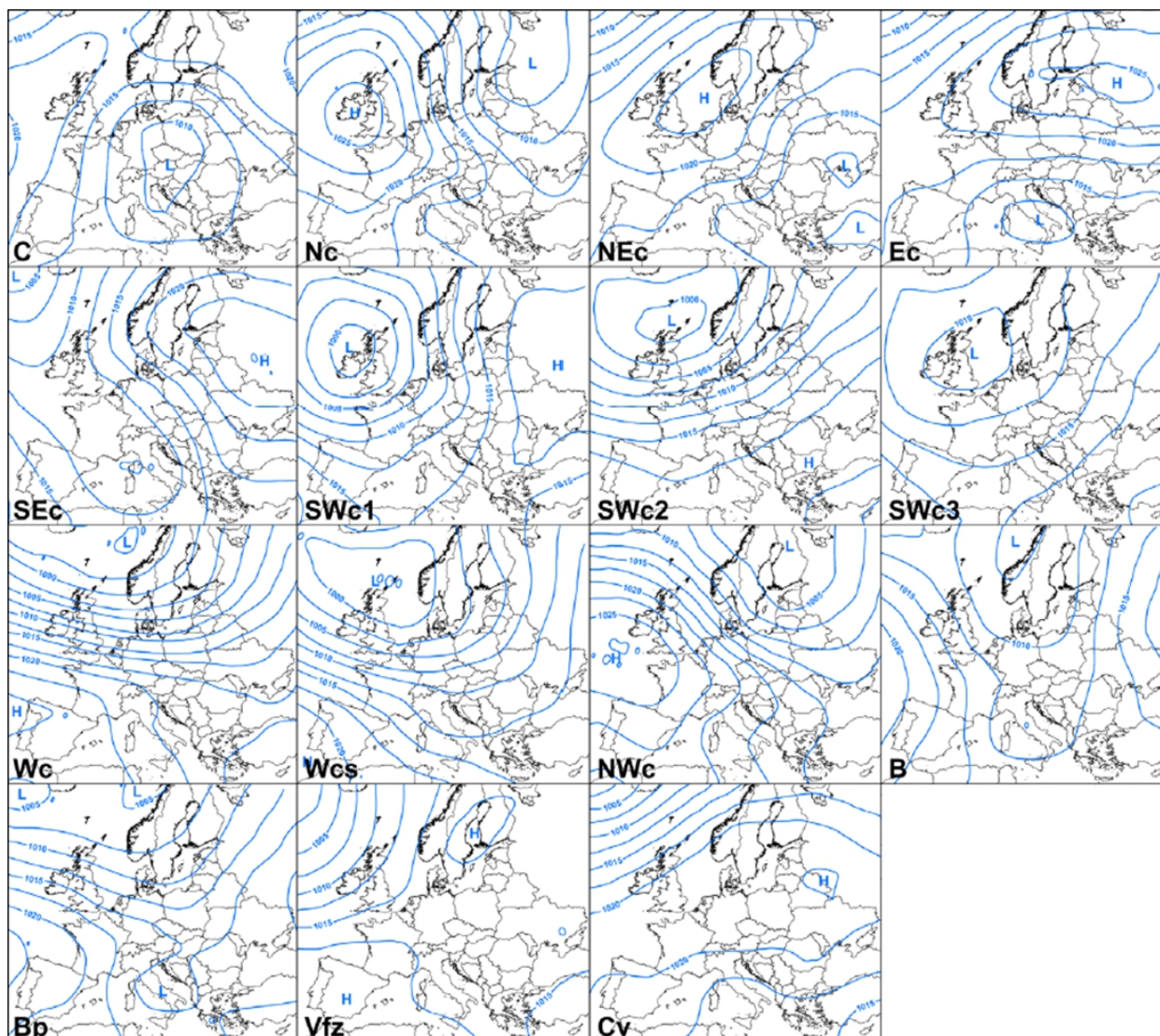
Typizácia poveternostných situácií

Sob  sek et al. (1993) definuje typizáciu poveternostných situácií ako systém synoptických typov, ktor  boli vytvoren  pomocou denných synoptických m p za účelom meteorologických predpovedi , klimatologických hodnoten  a i. Systém typizácie sa v minulosti vyu ival predovšetkým pri predpovedi počasia. V súčasnosti je len metodickou pomôckou pri v  skume. Typizácia je priradenie  r t ho klasifika n ho typu ku každému d nu, a to aj v prípade, že počasie v danom dni nesp ln  charakteristiky daného typu (Benco, 2009). Dôvodom je fakt, že cirkulácia atmosféry, ako aj synoptick  situácia sú dynamickým a neustále sa meniacim mechanizmom a vyskytujú sa dni, kedy je n ro nej  ie  r it  konkrétny poveternostn  vzor. Prev zuj  však dni, kedy je priradenie jednoduch . Typizácia poveternostných situácií na dennej báze bola realizovan  pred rokom 1991. Od tohto dátumu sa finalizuje typizácia raz ročne, na základe vzájomnej spolupráce českých a slovens ch kolektívov. Nakoľko tvar územia  R a SR je natiahnut  v rovnobe kovom smere, môže sa stať, že typ situácie nie je jednotn  na celom území. Prípadne sa vyskytujú dni, ktorým je n ro n  priradiť konkrétny typ situácie.

V minulosti sa pre územie Československa pou ivali aj in  typizácie poveternostných situácií. Z nich najstar  ia bola od Hessa a Brezowského (1952). T to typizácia bola navrhnut  pre územie západného Nemecka, a preto sa v našich regionálnych podmienkach neuchytila. Postupne bolo vytvorených viacero typizácií od autorov Rein (1959), Brádka (1961) a Ballon et al. (1964). V súčasnosti pou ivan  typizácia z konca 70-tých rokov (Kolektív HM , 1968) obsahuje 25 vzorových synoptických situácií. Všetky sú charakterizovan  istým smerom prúdenia alebo jeho krátkodobými zmenami, režimom tlakového poľa (Obr. 2), s  osobom prechodu jednotlivých front ln ch systémov a prúdením vzduchových hmôt, resp. ich striedaním. Je vyjadren m kompromisu medzi re pektovan m obdov  s jednotlivým počasím a zachovan m prirodzených synoptických obdov  (Benco, 2009). Ka d  ohrani en  synoptick  typ má svoj charakteristick   vod, priebeh a záver.

Obrázok 2. Schematické znázornenie prízemného tlakového poľa v Európe počas jednotlivých typov cyklónálnych situácií (Řehoř et al., 2021).

Figure 2. A schematic representation of the surface pressure field in Europe during individual types of cyclonic situations (Řehoř et al., 2021).



Kľúčovými faktormi sú rozostavenie tlakových útvarov nad územím strednej Európy (čiastočne aj širším územím Európskeho kontinentu a nad severným Atlantikom) a aktuálne meteorologické podmienky nad SR a ČR. Detailný popis všetkých typov cyklónálnych situácií sa nachádza na webovej stránke SHMÚ (Typy poveternostných situácií, 2022). Cyklónálne situácie sa vzájomne líšia nielen svojou charakteristikou, trajektóriou pohybu a priestorovou distribúciou zrážok, ale aj rôznou intenzitou zrážok a rozdielnym výskytom v rámci kalendárneho roka.

Hlavné povodia

Riečna sieť na území Slovenska je charakteristická svojou vysokou hustotou. Veľká časť krajiny je zároveň aj pramennou oblasťou, na naše územie priteká zo zahraničia len minimálne množstvo riek (z nich najväčšie napr. Dunaj, Morava, Uh, Latorica). Slovenskom prechádza hlavné

európske rozvodie medzi Čiernym a Baltským morom. Úmorie Čierneho mora odvodňuje až 96% celkovej plochy, zvyšné 4% patria povodiám Popradu a Dunajca, ktoré patria do úmoria Baltského mora. Hlavné povodia, ktoré sú odvodené od najvodnatejších riek na našom území, sú znázornené na Obr. 3.

Poznámka: pre operatívne potreby je zaužívaným zvykom rozdeliť povodie Váhu na 3 časti: povodie horného, stredného a dolného Váhu.

VÝSLEDKY

Spracovaním všetkých klasifikovaných poveternostných situácií cyklónálneho typu pomocou interpolačnej metódy Topo to Raster v prostredí ArcMap bolo vytvorených 15 rastrových výstupov priemerných ročných úhrnov zrážok jednotlivých cyklónálnych situácií na území Slovenska za obdobie 1991–2020. Na základe takýchto výsledkov sa

Obrázok 3. Hlavná riečna sieť a jej povodia.

Figure 3. The main river network and its basins.



dajú čiastočne identifikovať náveterné a záveterné polohy. Okrem toho sa vo výsledkoch nachádza experimentálny mapový výstup predstavujúci priemerný ročný úhrn zrážok pre všetky anticyklonálne typy situácií za obdobie.

Skupina cyklonálnych situácií Wc, Wcs

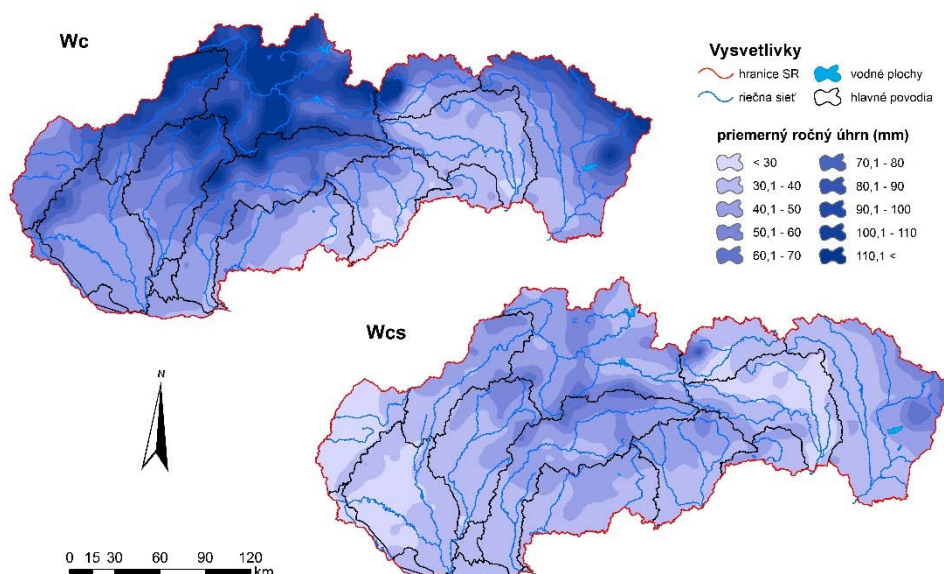
Priemerné ročné úhrny zrážok počas situácie typu Wc (Obr. 4, *západná cyklonálna situácia*) sú charakteristické kontrastnými rozdielmi medzi západnou a východnou polovicou územia. Najvyššie úhrny zrážok prináša situácia Wc v povodí horného a stredného Váhu, čiastočne aj horného Hrona, v povodiach tatranských prítokov Popradu a v severovýchodnej časti povodia Bodrogu. Zrážkový tieň s nižšími úhrnmi zrážok je v povodí Hornádu, Slanej a čiastočne aj Ipľa. V porovnaní s ostatnými situáciami je výraznejší rozdiel medzi najnižšou a najvyššou hodnotou priemerného ročného úhrnu zrážok, ako aj vplyv horských prekážok na ich nerovnomernú priestorovú distribúciu. Nakoľko ide o druhý najčastejší sa vyskytujúci typ cyklonálnej situácie (z hľadiska počtosti dní v roku), zrážkové pole tejto situácie sa zreteľne odzrkadľuje aj na

celkovom priemernom ročnom úhrne zrážok. Najmä v horských oblastiach presahuje priemerný ročný úhrn zrážok z tejto situácie 100 mm.

Príbuzný typ Wcs (*západná cyklonálna situácia s južnou dráhou*) je oproti situácii Wc charakteristický nižšími úhrnmi zrážok (oproti situácii Wc približne o tretinu nižšími) a ťažiskom zrážok lokalizovaným južnejšie – najmä v centrálnej časti krajiny. Návetriami sú v tomto prípade najmä povodia fatranských a nízkotatranských prítokov Váhu a Hrona a východná polovica povodia Bodrogu (Obr. 4). V zrážkovom tieni sa opäť nachádza takmer celé povodie Hornádu, aj povodie slovenského úseku Moravy a povodie dolného Váhu.

Obrázok 4. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu Wc a Wcs.

Figure 4. Average annual total precipitation during Wc and Wcs situation.



Skupina cyklonálnych situácií SWc1, SWc2 a SWc3

Vzájomne príbuzné situácie SWc1, SWc2 a SWc3 (*juhozápadná cyklonálna situácia typu 1, 2 a 3*) sa medzi sebou líšia trajektóriou pohybu, ktorá následne ovplyvňuje priestorové rozmiestnenie zrážok. Z hľadiska priemerného ročného úhrnu zrážok je najmenej výrazná situácia typu SWc1. Počas nej spadne vo väčšine povodí v priemere do 25 mm zrážok. Vzhľadom na svoju orientáciu majú vyššie úhrny zrážok najmä južné návetria v povodiach horného Hrona, Ipľa a Slanej (Obr. 5).

Typ SWc2 prináša najmenej zrážok na krajný juh územia – v dolných častiach povodí na Podunajskej a Východoslovenskej nížine, ale aj v Juhoslovenskej kotline. Naopak, vysoké priemerné ročné úhrny zrážok sú lokalizované v centrálnej časti krajiny, v povodiach horného Váhu a horného Hrona. Väčšie množstvo zrážok (v priemere nad 40 mm ročne) sa spravidla vyskytne aj vo východnej polovici povodia Bodrogu. SWc2 je značne zrážkovo bohatšia ako SWc1, čo je spôsobené predovšetkým jej častejším výskytom.

V porovnaní s predchádzajúcou situáciou je posledný typ SWc3 (Obr. 5) charakteristický vyššími úhrnmi zrážok na väčšej ploche územia, predovšetkým v povodiach na strednom a východnom Slovensku, i keď sa daná situácia vyskytla v skúmanom období menej často ako SWc2. Najvyššie úhrny zrážok sa pri tejto situácii vyskytujú v centrálnej časti Slovenska, a to predovšetkým v povodí Hrona a Slanej. V zrážkovom tieni zostáva takmer celý juhozápad krajiny – t.j. povodie dolného Váhu, vrátane Žitného ostrova a povodie slovenského úseku Moravy. Počas situácií SWc2 a SWc3 priemerné ročné úhrny zrážok spravidla nepresiahnu 60 mm.

Skupina cyklonálnych situácií SEc, Ec, NEc

Priemerné ročné úhrny zrážok počas synoptického typu SEc (*juhovýchodná cyklonálna situácia*) sú nižšie v porovnaní s ostatnými dvoma situáciami z východných smerov. Priestorová variabilita zrážok je charakterizovaná rozdielom medzi severovýchodnou a juhozápadnou časťou územia Slovenska. Najvyššie priemerné ročné úhrny zrážok (v intervale od 40 do 60 mm) sú v povodí Bodvy, Hrona, Ipľa, Slanej, dolného Váhu a Moravy. V povodiach na krajnom severe Slovenska, ktoré ležia v zráž-

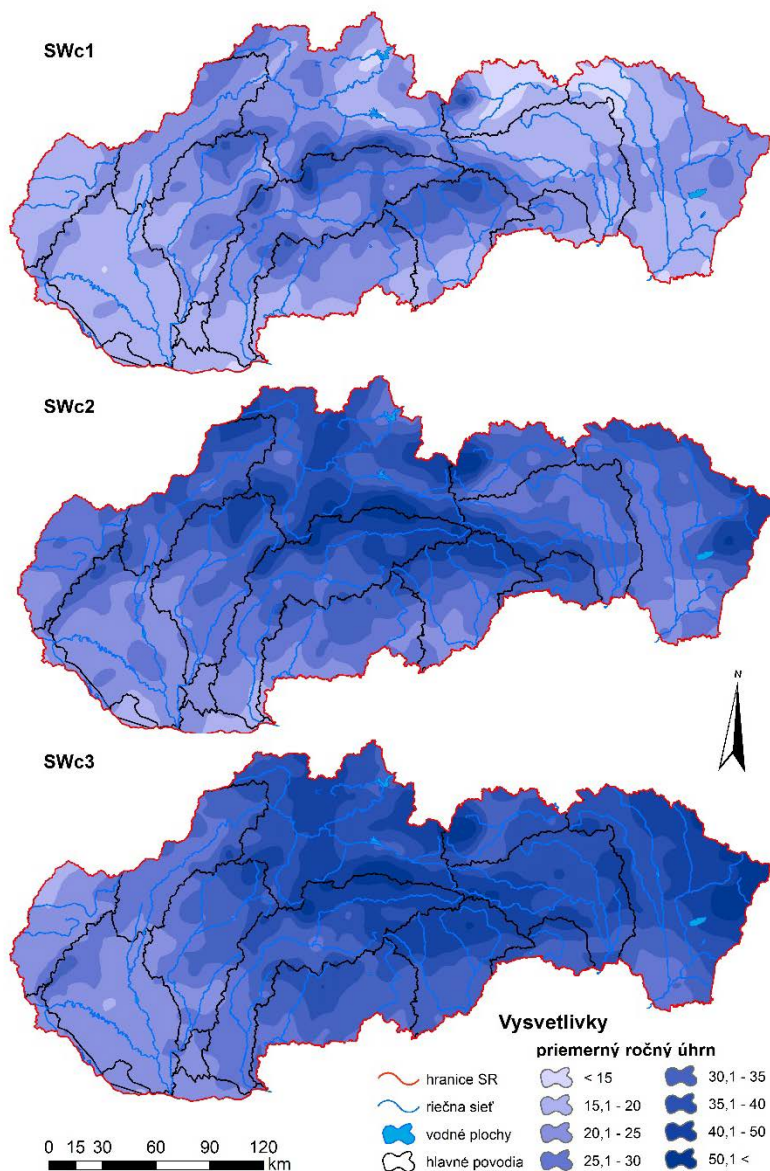
kovom tieni, priemerné ročné úhrny zrážok zväčša nepresiahnu 20 mm (Obr. 6).

Počas situácie typu Ec (*východná cyklonálna situácia*) sú najvyššie priemerné ročné úhrny zrážok dosahované v tých istých povodiach ako pri predošlej SEc situácii. Vyššie zrážkové úhrny sa vyskytujú aj v horných častiach povodia Hornádu a v povodí Popradu. V zrážkovom tieni ukrajinských Karpát je väčšinová časť povodia Bodrogu a čiastočne aj povodie Hornádu.

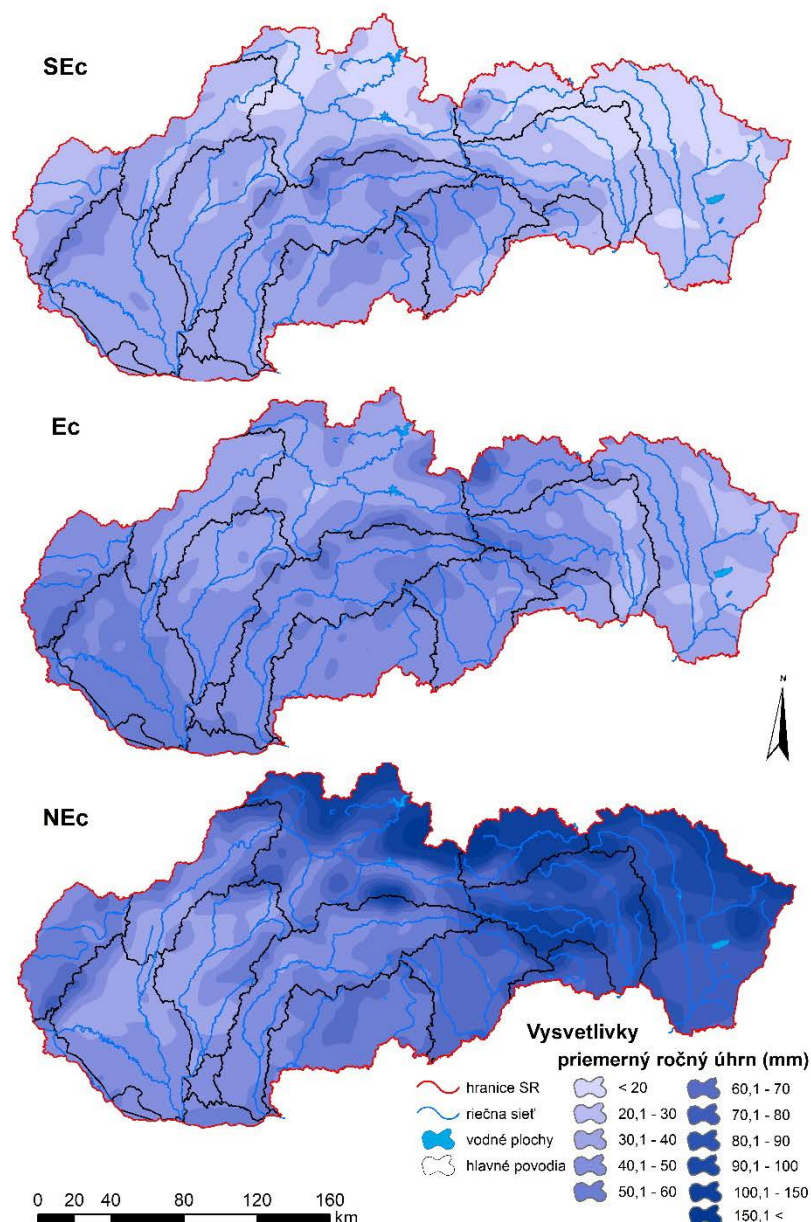
Ako zrážkovo najvýdatnejšia sa javí cyklonálna situácia typu NEc (Obr. 6, *severovýchodná cyklonálna situácia*), čo je predovšetkým spôsobené jej najčastejším výskytom spomedzi tejto skupiny situácií. Pomerne vysoké priemerné ročné úhrny zrážok (aj nad 100 mm) sú v povodiach východnej a severnej polovice Slovenska. Naproti tomu nižšie zrážkové úhrny pripadajú na zrážkový tieň v povodí dolného Váhu a čiastočne aj Nitry.

Obrázok 5. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu SWc1, SWc2 a SWc3.

Figure 5. Average annual total precipitation during SWc1, SWc2 and SWc3 situation.



Obrázok 6. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu SEc, Ec a NEc.
 Figure 6. Average annual total precipitation during SEc, Ec and NEc situation.



Skupina cyklónálnych situácií Nc, NWc

Priemerné ročné úhrny zrážok pri situácii typu Nc (*severná cyklónálna situácia*) sú charakteristické výraznými rozdielmi medzi povodiami v severnej a južnej časti územia. Najviac zrážok (približne od 50 do 100 mm ročne) sa vyskytne počas situácie Nc v povodiach prítokov Váhu (Kysuca, Orava, Turiec) a v povodiach na krajnom severe východného Slovenska, vrátane Popradu (Obr. 7). Smerom na juh vytvára Karpatský oblúk zrážkový tieň vo všetkých povodiach v južnej polovici územia.

Rovnako kontrastné zrážkové pole vytvára situácia typu NWc (Obr. 7, *severozápadná cyklónálna situácia*). Výrazne vyššie priemerné ročné úhrny zrážok oproti zvyšku územia sú v povodí horného a stredného Váhu, čiastočne aj horného Hrona, Popradu a v severovýchodnej časti povodia

Bodrogu. Zrážkový tieň je v prípade severozápadného prúdenia najmä v povodí Hornádu, Slanej a Ipľa. Vplyv orografie na priestorovú distribúciu zrážok je pri oboch typoch situácií vo väčšine prípadov výrazný.

Skupina cyklónálnych situácií B, Bp

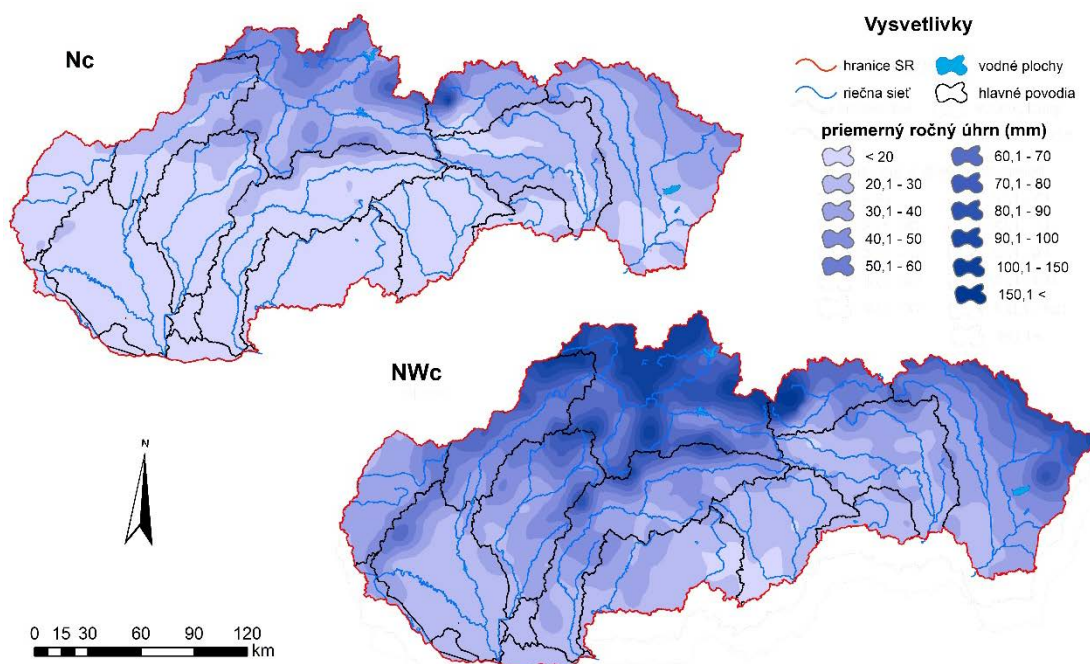
Priemerné ročné úhrny zrážok pri dvojici cyklónálnych typov B (*brázda nízkeho tlaku nad strednou Európou*) a Bp (*brázda postupujúca cez strednú Európu*) sú vzájomne takmer identické. Rozptyl zrážkových úhrnov sa pohybuje približne od 70 do 225 mm (Obr. 8). Výraznejšie rozdiely sú predovšetkým v priestorovom rozmiestnení zrážok. Počas situácie Bp je ťažisko zrážok lokalizované v horských povodiach severnej polovice stredného Slovenska, v povodí horného a stredného Váhu a Popradu. Najmenej zrážok spadne v povodiach južnej polovice západného Slovenska, napríklad v povodí dolného Hrona, Váhu a Nitry, vrátane Žitného ostrova. Naproti tomu počas situácie B zaznamenávame najvyššie priemerné ročné úhrny zrážok v centrálnej časti krajiny, a to v povodí horného Hrona, Ipľa a Slanej, v povodiach nízkotatranských prítokov Váhu a v hornej časti povodia Hornádu (Hnilca). Zrážkový tieň s nižšími úhrnmi zrážok je najmä v povodiach Východoslovenskej nížiny. Nerovnomerná distribúcia zrážok počas týchto cyklónálnych situácií je významne ovplyvnená orografickým navýšením zrážok, kedy najvyššie pohoria zachytia približne o tretinu viac zrážok v porovnaní s okolím. V prípade situácie B sú to najmä návetria Vysokých Tatier, Nízkych Tatier a Slovenského Rudohoria, pri situácii typu Bp sa vyskytujú návetria s vysokými

úhrnmi zrážok najmä vo vyšších polohách na Orave, vo Vysokých Tatrách a Nízkych Tatrách.

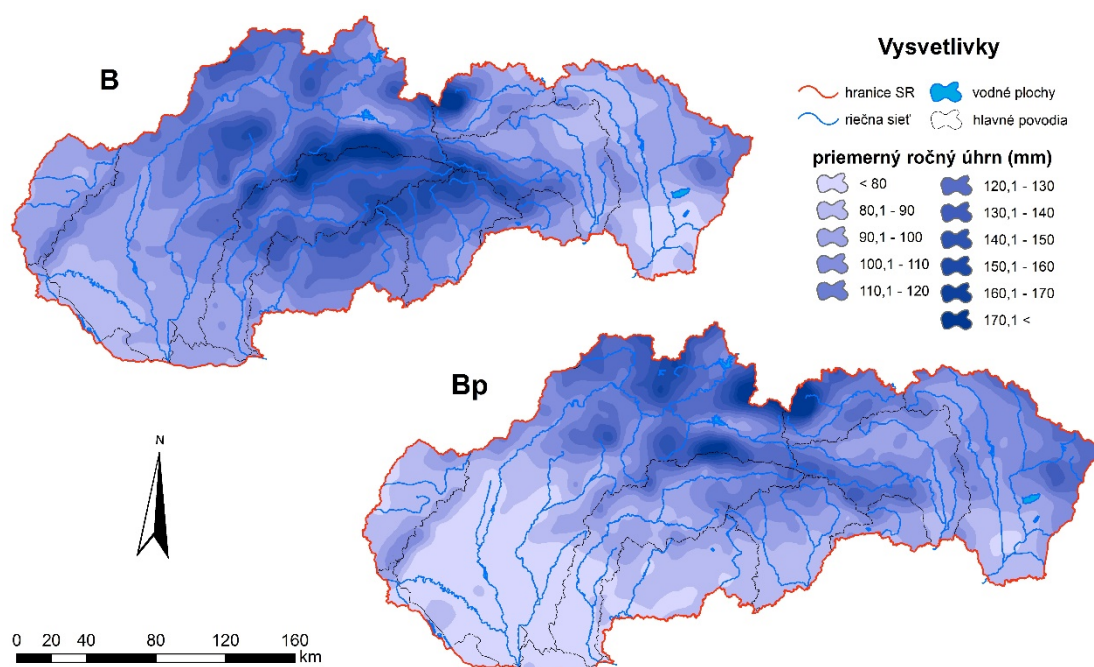
Skupina cyklónálnych situácií C a Cv, Vfz

Počas cyklónálnej situácie typu C (*cyklóna nad strednou Európou*) dosahujú priemerné ročné úhrny zrážok nižšie hodnoty ako pri predchádzajúcich dvoch typoch (B, Bp). To je predovšetkým spôsobené trojnásobne nižším výskytom skúmanej situácie. Zrážkové pole má podobné priestorové rozmiestnenie ako pri situácii Bp. Rozdiel medzi najvyššou a najnižšou hodnotou úhrnu zrážok je však len približne 50 mm, čo indikuje menší, avšak nie zanedbateľný vplyv orografie. Priestorová distribúcia zrážok je rovnomernejšia a sú výrazne menšie rozdiely medzi jednotlivými povodiami.

Obrázok 7. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu Nc a NWc.
 Figure 7. Average annual total precipitation during Nc and NWc situation.



Obrázok 8. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu B a Bp.
 Figure 8. Average annual total precipitation during B and Bp situation.



Najvyššie priemerné ročné úhrny zrážok sú lokalizované v horných častiach povodí Hrona, Slanej a čiastočne aj Váhu (v oblasti Nízkych Tatier), naproti tomu, najnižšie zrážkové úhrny nachádzame v povodiach na krajnom severe Slovenska, a čiastočne aj Žitnom ostrove alebo v povodiach na Východoslovenskej nížine (Obr. 9).

Dvojica cyklonálnych situácií Cv (výšková cyklóna) a Vfz (vchod frontálnej zóny) sa vyznačuje nižšími priemernými ročnými úhrnmi zrážok na celom území Slovenska. Je to spôsobené predovšetkým ich zriedkavým výskytom. Úhrny zrážok sú takmer rovnomerne priestorovo rozmiestnené a medzi skúmanými povodiami sú len malé rozdiely. Rozdiel

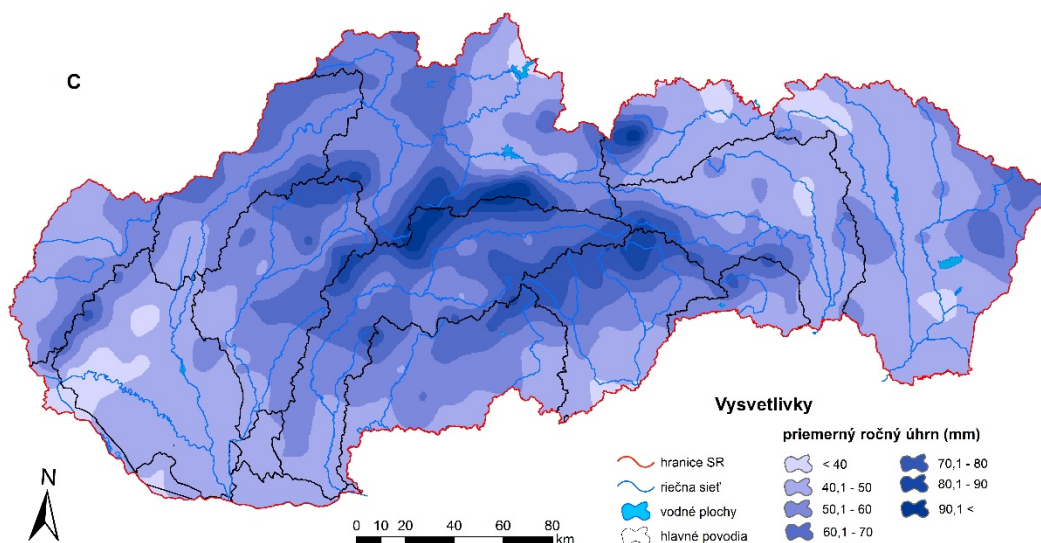
medzi minimálnym a maximálnym priemerným ročným úhrnom zrážok je len približne 20 mm. Počas situácie typu Cv spadne najväčšie množstvo zrážok spravidla v povodiach južnej polovice stredného Slovenska (povodie Hrona, Slanej, Ipľa, ale aj Hornádu) a v najvyšších horských polohách. Menej zrážok spadne v povodiach na juhozápade územia. Nakoľko situácia typu Vfz takmer výlučne prichádza zo západného kvadrantu, najvyššie priemerné úhrny zrážok sa vyskytujú v slovenskej časti povodia Moravy, v povodí horného a stredného Váhu a v povodiach na krajnom severe a východe územia (Obr. 10). Naopak, najmenej zrážok spadne v povodiach lokalizovaných v južnej a východnej polovici územia.

Skupina všetkých anticyklonálnych situácií

Po odčítaní všetkých výsledných rastrov priemerných ročných úhrnov zrážok jednotlivých cyklonálnych typov situácií od priemerného ročného úhrnu zrážok sme experimentálne dostali priemerný ročný úhrn zrážok všetkých desiatich anticyklonálnych typov situácií dokopy (A, Ap, Ea, NEa, NWa, Sa, SEa, SWa, Wa, Wal). Zrážky sú spravidla spájané s cyklonálnym typom situácií, no môžu sa vyskytnúť aj v rámci anticyklonálneho typu situácie ako prehánky, resp. búrky vo vnútri vzduchovej hmoty. Najnižšie priemerné ročné úhrny zrážok sme zaznamenali v skúmanom období predovšetkým v povodí Nitry a dolného Váhu,

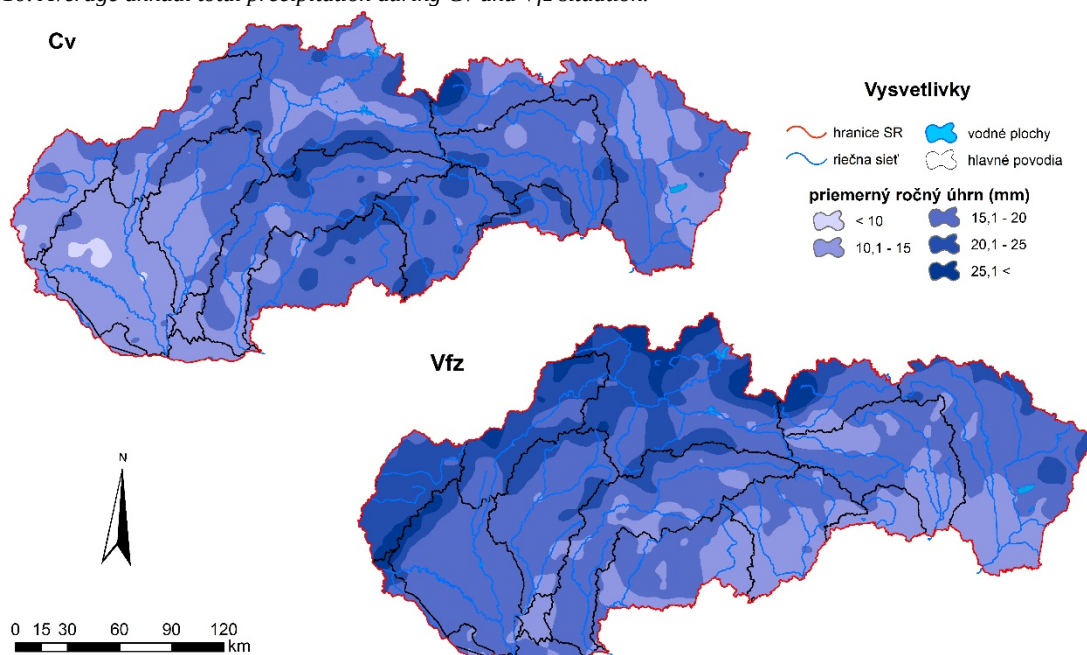
Obrázok 9. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu C.

Figure 9. Average annual total precipitation during C situation.



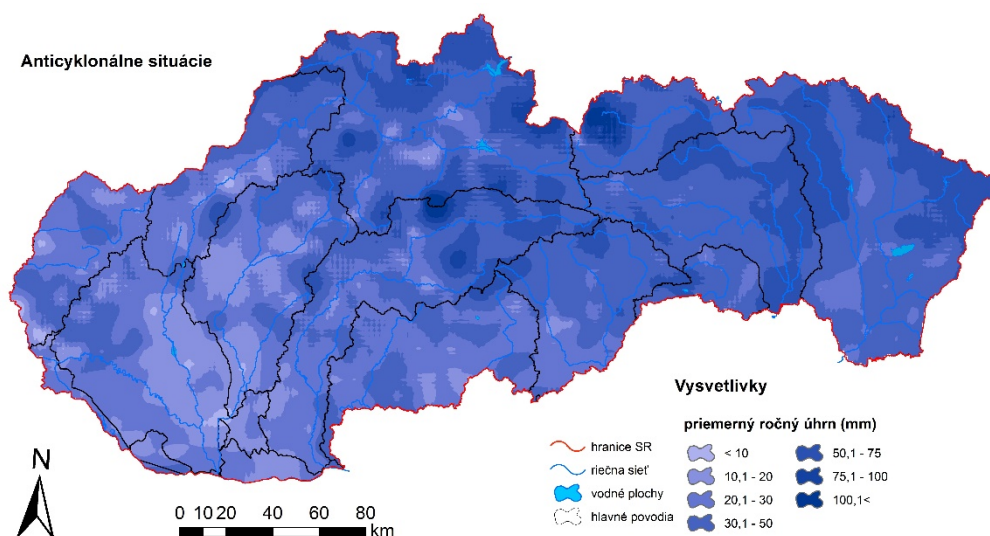
Obrázok 10. Priemerný ročný úhrn zrážok počas situácie typu Cv a Vfz.

Figure 10. Average annual total precipitation during Cv and Vfz situation.



Obrázok 11. Priemerný ročný úhrn zrážok počas anticyklonálnych situácií.

Figure 11. Average annual total precipitation during anticyclonal situation.



ojedinele aj menej ako 10 mm (Obr. 11). Najvyššie zrážkové úhrny sa vyskytli všeobecne v povodiach centrálnej a východnej časti Slovenska, kde to bolo zväčša viac ako 30 mm, no v ojedinelých prípadoch aj viac ako 100 mm (predovšetkým v povodí Hrona). Výsledky priemerných ročných úhrnov zrážok v priebehu anticyklonálnych typov situácií môžu takisto navyšovať konce prebiehajúcich cyklonálnych situácií, kedy je ťažké presne určiť - či sa jedná o cyklonálny alebo anticyklonálny typ situácie. Preto sme túto formu výsledkov nazvali ako experimentálnu.

ZÁVER A DISKUSIA

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že z hľadiska priemerného ročného úhrnu zrážok jednotlivých situácií boli v skúmanom období 1991 až 2020 zrážkovo najbohatšie situácie B, Bp a NEc. Tento fakt je predovšetkým spôsobený ich veľmi častým výskytom v priebehu skúmaného obdobia. Naopak, najchudobnejšími situáciami boli v tomto období Vfz a Cv, a to najmä pre ich sporadický výskyt. Čo sa týka priestorovej distribúcie zrážok v rámci Slovenska, najväčšie priestorové rozdiely medzi úhrnmi zrážok sme zaznamenali predovšetkým pri cyklonálnych typoch situácií z určitého smeru (najmä Nc, NWc, NEc, SEc). Je to spôsobené najmä špecifickým prúdením daného typu situácie a vertikálne a aj horizontálne členitým reliéfom Slovenska, ktorých kombináciou je zvýraznený náveterný, resp. záveterný efekt.

V posledných rokoch boli úhrny zrážok na Slovensku spracovávané v rámci jednotlivých typov poveternostných situácií vo viacerých fázach. Išlo najmä o študentov Katedry fyzickej geografie a geokológie na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského pod vedením RNDr. Norberta Polčáka, PhD. Pri spracovaní prác tohto typu bola pre tvorbu rastrových polí zrážok použitá predovšetkým metóda Topo to Raster, ktorá je modifikáciou spline metódy.

Mészáros (2015) sa v práci zaoberal analýzou zrážok ovplyvnených reliéfom, kde vyčleňoval náveterné, resp.

záveterné polohy len na základe priemerného úhrnu zrážok pre jednotlivé typy južných cyklonálnych situácií. Následne na jeho metodiku nadviazal Kasza (2018), ktorý spracoval cyklonálne situácie zo severných smerov. Okrem toho Mészáros (2019) svoju prácu rozvinul a spracoval priestorové zákonitosti rozmiestnenia atmosférických zrážok na Slovensku pri južných cyklonálnych situáciách. Použitím rovnakej metodiky sa ďalej Halaj (2019) zaoberal analýzou zrážok ovplyvnených reliéfom zo západného smeru. Na vyššie spomenutých autorov nadviazal aj Zaujec (2020), kde sa pri podrobnejšom spracovaní pre situácie NWc a SEc vytvorili aj mapy priemerných ročných úhrnov zrážok jednotlivých situácií pre všetky ročné obdobia. Taktiež bol štatisticky spracovaný výskyt týchto typov situácií či už v roku (ako celku), v teplom/chladnom polroku a aj v ročnom období. Ďalej sa Zaujec (2022) tejto problematike venoval pri severných a južných cyklonálnych situáciách, kde boli napr. inovatívnou metodikou vytvorené zrážkové polia pre náveterné, záveterné a neutrálne polohy v rozšírenom 40 ročnom období (1981 – 2020). Upraveným spôsobom spracovania tejto problematiky sa zaoberal Mészáros et al. (2022).

Postupne boli týmto spôsobom pre minimálne 30 ročné obdobie analyzované južné, severné, západné a napokon aj východné smery, z ktorých cyklonálne situácie prichádzajú. V poslednom kroku tohto článku bola spracovaná aj zvyšná päťica cyklonálnych situácií (B, Bp, C, Cv a Vfz). Jedným z cieľov tohto príspevku bolo všeobecné zhrnutie doterajších čiastkových výsledkov do jedného komplexného celku.

Podakovanie

Podakovanie *in memoriam* patrí nášmu kolegovi, ale aj dobrému kamarátovi RNDr. Jakubovi Mészárosovi, ktorý ako prvý nastavil hlavnú časť metodiky takéhoto typu spracovania zrážkových úhrnov. Taktiež mu ďakujeme za inšpiratívne konzultácie a spoluprácu pri predchádzajúcich prácach tohto zamerania.

LITERATÚRA

- Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002, Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR a Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. ISBN 80-8883327-2.
- Ballon, P.–Forgáč, P.–Molnár, F., 1964, Počasie na území Slovenska. Hydrometeorologický ústav v Prahe, 3–60.
- Basist, A.–Bell, Gerald, D.–Meentemeyer, V., 1996, Statistical relationships between topography and precipitation patterns. *Journal of climate*, 1994, 7.9: 1305–1315.
- Benco, M., 2009, Typy poveternostných situácií a tok vlhkosti v Čechách. Praha. Diplomová práca. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. 68 s.
- Brádka, J., 1961, Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Hydrometeorologický ústav, 1961.
- Brádka, J., 1972, Srážky na území ČSSR při jednotlivých typech povětrnostní situace. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu*, č. 18. Hydrometeorologický ústav v Prahe: 1972, 8–62.
- Brázdil, R.–Faško, P., 1993, Orographic effects on precipitation distribution on the territory of the Slovak Republic. In *Sixteenth International Conference on Carpathian Meteorology*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav: 1993, 86–91. ISBN 80-85754-01-0.
- Brázdil, R.–Štekl, J., 1986, Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Brno: Univerzita J. E. Purkyně v Brně, 1986. 298 s.
- Finkelstein, Peter L.–Truppi, Lawrence E. Spatial distribution of precipitation seasonality in the United States. *Journal of climate*, 1991, 4.4: 373–385.
- Halaj, M., 2019, Vplyv reliéfu na rozloženie zrážok na Slovensku pri západných cyklonálnych situáciách. Bratislava. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta. 83 s.
- Hess, P.–Brezowsky, H., 1952, Katalog der Grosswetterlagen Europas. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone*, roč. 33.
- Kasza, R., 2018, Vplyv reliéfu na úhrny atmosférických zrážok na Slovensku pri západných cyklonálnych situáciách. Bratislava. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta. 67 s.
- Keblouti, M.–Ouerdachi, L.–Boutaghane, H., 2012, Spatial interpolation of annual precipitation in Annaba-Algeria-comparison and evaluation of methods. *Energy Procedia*, 2012, 18: 468–475. ISSN 1876-6102.
- Klimatický atlas Slovenska. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. 2015. ISBN 978-80-88907-90-9.
- SHMÚ, 2022, Klimatické pomery SR. Dostupné na: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1064>
- Kolektiv synoptické a letecké služby hydrometeorologického ústavu, 1968, Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. 1. vyd., Hydrometeorologický ústav, Praha, 94 s.
- Konček, M., et al. 1974, Klíma Tatier. Bratislava: Veda. 855 s.
- Lešková, L.–Šťastný, P.–Trizna, M., 2012, Analýza vplyvu severoatlantickej oscilácie na sezónne úhrny zrážok v zrážkových oblastiach Slovenska. *Meteorologický časopis*. Roč. 15, č. 2, 75–80. ISSN 1335-339X.
- Mészáros, J., 2015, Vplyv reliéfu na rozloženie zrážok pri južných cyklonálnych situáciách. Bratislava. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta. 73 s.
- Mészáros, J., 2019, Priestorové zákonitosti rozmiestnenia atmosférických zrážok na Slovensku pri južných cyklonálnych situáciách za obdobie rokov 1991–2015. Bratislava. Rigorózna práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta. 120 s.
- Mészáros, J.–Halaj, M.–Polčák N.–Onderka, M., 2022, Mean annual totals of precipitation during the period 1991–2015 with respect to cyclonic situations in Slovakia. *Időjárás/quarterly journal of the hungarian meteorological service*, 2022, 126.2: 267–284.
- Mikulová, K., 2010, Praktické uplatnenie GIS v klimatológii (Tvorbá jednotlivých vrstiev meteorologických prvkov v prostredí GIS a ich vzájomná väzba.). Dizertačná práca, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského, Bratislava.
- Nikolova, N.–Vassilev, S., 2006, Mapping precipitation variability using different interpolation methods. *Proceedings of the conference on water observation and information system for decision support (BALWOIS)*. 2006. 25–29.
- Panenka, I. 1980, Synoptické situácie vo vzťahu k mimoriadnym zmenám v odtoku. *Záverečná správa úlohy II-7/1-6.2*. Hydrometeorologický ústav: Bratislava 1980. 75 s.
- Parajka, J., 2001, Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska. Dizertačná práca. Katedra Vodného hospodárstva krajiny. Stavebná fakulta v Bratislave.
- Pecušová, Z., et al, 2004, Interpolation of daily precipitation in the upper Hron basin using kriging with external drift. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2004, 1: 3–13. ISSN 1335 6291.
- Řehoř, J., et al. 2021, Precipitation in the Czech Republic in light of subjective and objective classifications of circulation types. *Atmosphere*, 2021, 12.11: 1536.
- Rein, F., 1959, Weather typing with regard to dynamic climatology. In *Studia geophysica et geodaetica*, roč. 3, č. 2.
- Sobíšek, B. 1993, Meteorologický slovník výkladový terminologický: S cizojazyčnými názvy hesel ve slovenštině, angličtině, němčině, francouzštině a ruštině. *Academia*, 1993.
- Sotillo, Marcos G., et al. 2003, Role of orography in the spatial distribution of precipitation over the Spanish Mediterranean zone. *Climate Research*, 2003, 23.3: 247–261.
- Šamaj, J.F.–Valovič, Š., 1981, Zrážkové pomery na Slovensku. *Mapová časť*. Bratislava: Alfa, 1981.
- Šercl, P., 2011, AGHydroInterpolace (Interpolaciční procedury pro ArcGIS 10.x). Praha: Český hydrometeorologický ústav. 18 s.
- Šercl, P., 2008, Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorolog. zprávy*. Vol. 61, n. 2, 33–43. ISSN 0026-1173.
- SHMÚ, 2022, Typy poveternostných situácií. Dostupné na: <https://www.shmu.sk/sk/?page=8&rok=2020>
- Vincente-Serrano, S.M.–Saz-Sánchez, M.A.–Cuadrat, J.M., 2008, Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate research*, 2003, 24.2: 161–180. ISSN 1616 1572.
- Zaujec, P., 2020, Vplyv reliéfu na zrážkové pomery Podunajskej nížiny v období rokov 1991–2018. Bratislava. Bakalárska práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta. 55 s.
- Zaujec, P., 2022, Zrážkové pomery Slovenska pri severných a južných cyklonálnych situáciách. Bratislava. Diplomová práca. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta. 118 s.

DIGITAL ATLAS OF RAINFALL DESIGN INTENSITIES IN SLOVAKIA

MILAN ONDERKA^{1,2*}, MAREK SOKÁČ⁴, KATARÍNA MIKULOVÁ¹, JOZEF PECHO^{1,3}

¹ Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, Bratislava, Slovakia SK-83315

² Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovakia SK-84005

³ Comenius University, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Bratislava, Slovakia, SK-84248

⁴ Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovakia SK-84005

* Corresponding author's email: milan.onderka@savba.sk

Relationships between rainfall intensities, duration and frequency, graphically displayed in the form of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves, are important for the design a variety of storm water management structures. The calculation of rainfall frequency estimates in Slovakia has been historically the responsibility of the national weather service (nowadays the Slovak Hydrometeorological Institute). The digital atlas (a multidimensional array) comprising 224 raster layers with rainfall intensities corresponding to return periods 2, 5, 10, 20, 30, 50 and 100 years, and rainfall durations lasting 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes; 90 minutes, and 2, 3, 6, ... up to 24 hours, is presented for the entire territory of Slovakia. Time series of 1-minute rainfall recorded by automatic and mechanical self-registering rain gauges (digitalized strips) were first checked for quality and aggregated to selected temporal scales. Annual maxima series were calculated for each location. Due to the relatively short time series of rainfall measurements (<20 years), the parameters of the GEV distribution function were inferred by the Bayesian approach using the annual maxima series (AMS) method. The derived local estimates of rainfall frequencies were spatially interpolated in order to derive accurate estimates of rainfall frequencies for locations without in-situ rainfall measurements. From various geostatistical methods described in the literature that can be used for interpolating rainfall data from observations made at scattered locations into a regularized grid of points, we chose tri-variate Regularized Splines with Tension (v.vol.rst) implemented within the GRASS geographic information system. This method allowed us to incorporate altitude as a covariate. This enabled us to account for the influence of orography on rainfall intensities. The horizontal resolution of the resulting maps of gridded rainfall frequencies is 500 meters. The individual data arrays were stacked into a multidimensional cube from which we can abstract IDF curves specifying the requested return level for any location within the territory of Slovakia. Examples displaying the derived maps illustrate the spatial variability of rainfall intensities. A graphical interface will have to be created to facilitate the use of the presented work by the climatological service of the Slovak Hydrometeorological Institute.

Vzťahy medzi intenzitou dažďa, s jeho trvaním a frekvenciou výskytu, ktoré sú v grafickej podobe známe tiež ako IDF krivky (z angl. Intensity-Duration-Frequency), sú dôležitou pomôckou pre vodohospodársku prax. Výpočet návrhových hodnôt intenzít atmosférických zrážok na Slovensku je historicky úlohou klimatologickej služby Slovenského hydrometeorologického ústavu. Digitálny atlas (vo forme multidimenzionálneho dátového poľa) pozostávajúci z 224 dátových polí s intenzitami dažďa korešpondujúcimi s dobou opakovania $T = 2, 5, 10, 20, 30, 50$ a 100 rokov, pre dĺžky dažďových oddielov od 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 a 60 minút; 90 minút, a ďalej 2, 3, 6, ... až po 24 hodín, je po prvýkrát prezentovaný pre celé územie Slovenska. Na jeho vytvorenie boli použité údaje z automatických zrážkomerov a digitalizovaných ombrografických pásov s časovým rozlíšením záznamu 1 minúta. Ročné maximá intenzít dažďa boli vypočítané pre zvlášť každú lokalitu a pre všetky uvažované trvania dažďa. Vzhľadom na relatívne krátke časové rady (<20 rokov) sme pri odhade parametrov GEV rozdelenia ročných maxím použili princíp bayesovskej inferencie. Lokálne odhady intenzít dažďa pre zvolené doby opakovania sme interpolovali v priestore, čím sme získali odhady návrhových intenzít dažďa aj pre lokality bez trvale inštalovaného zrážkomeru. Spomedzi metód opísaných v literatúre, ktoré sú použiteľné pre účely interpolácie staničných záznamov atmosférických zrážok do regularizovaného gridu, sme vybrali metódu trivariatného regularizovaného splajnu s tenziou (v.vol.rst). Táto interpolačná metóda je implementovaná v GIS prostredí GRASS. Trivariatný regularizovaný splajn s tenziou nám umožnil využiť informáciu o nadmorskej výške ako dodatočného kovariátu k zemepisnej šírke a dĺžke, čo nám umožnilo lepšie zohľadniť vplyv orografie na priestorové rozloženie návrhových hodnôt intenzít dažďa. Horizontálne rozlíšenie výsledných rastrových vrstiev s gridovanými návrhovými intenzitami dažďa je 500 metrov. Jednotlivé dátové polia obsahujúce návrhové intenzity dažďa pre jednotlivé doby opakovania boli zoskupené do jednej multidimenzionálnej kocky z ktorej môžeme extrahovať IDF krivky pre ľubovoľnú lokalitu na Slovensku. Za účelom ilustrovania priestorovej variability intenzít dažďa sme zahrnuli do tohto článku aj príklady máp intenzít dažďa. V blízkej budúcnosti plánujeme ako ďalší krok vytvoriť grafické rozhranie pomocou ktorého bude možné výsledky tejto štúdie operatívne používať ako technickú pomôcku v klimatologickej službe SHMÚ.

Key words: rainfall intensity, IDF, tri-variate regularized splines with tension, atlas

INTRODUCTION

Intense rainfall events deliver large amounts of rain water over short periods of time. Intense rains are capable of overwhelming storm drains, flood basements, wash out bridges and roads, and triggering floods and initiating landslides. To reduce the risk of damages to property, hydrologists, civil engineers and public authorities need accurate information about the probability of occurrence of extreme rainfall events (Bedient et al., 2008; Koutsoyiannis et al., 2004 a,b; Koutsoyiannis et al., 1998; Koutsoyiannis et al., 2022; Onderka and Pecho, 2022 a). Short-duration rainfall intensities, graphically displayed in the form of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves (or Depth-duration-Curves), are used by civil engineers in calculations of peak runoff for design of a variety of storm water management structures such as storm sewers, storm water detention structures (Bedient et al., 2008). IDF curves have been used in hydrology for almost a century now (Sherman, 1932). IDF curves gained their popularity due to their practical benefits when engineering problems are affected by rainfall extremes.

In Slovakia, the calculation of rainfall frequency estimates has historically been the responsibility of the national weather service (nowadays the Slovak Hydrometeorological Institute). Over time, several estimates of rainfall design values were published in different technical reports and research papers such as the early works of Dub (1946), Dzubák (1969), Šamaj and Valovič (1973), Urcikán and Imriška (1986), mostly using historical records from rain gauges at a limited number of locations. Attempts to establish regional curves based on the ergodic behavior of rainfall extremes were made by Kupčo (1985) and Kupčo et al. (2021). For example, Šamaj and Valovič (1973) analyzed pluviograms from 68 self-registering rain gauges with source data covering mostly the first half of the 20th century. More recent studies concerned covering this topic in Slovakia are the papers of Gaál et al. (2009), Bara et al. (2009), Kupčo et al. (2021), Onderka et al. (2020 a, b, 2022 a).

The concept of IDF curves is widely used in the design and evaluation of urban drainage infrastructure. The Slovak Technical Standard STN 75 6101 (2002) required the modified rational method to be used as the main design and evaluation method in Slovakia. This technical standard implicitly requires application of IDF curves in determining design (peak) flow for a specific sewer system section, depending on the travel time of a particular sub-catchment. The IDF relationships of Urcikán and Imriška (1986) were recommended by the aforementioned Slovak Standard STN 75 6101 (2002) for provisional plans. In 2018, the Slovak Technical Standard STN 75 6101 was replaced by the European standard STN EN 16933-2 (2018). However, this European standard also states, that the “relevant authority” can specify design rainfall values to be used, reflecting the local conditions, and that these values can be provided in the form of constant rainfall rates calculated from intensity-duration-frequency (IDF) curves. IDF curves are one of the basic design parameters used in the urban hydrology and urban drainage. Unfortunately, in Slovakia,

parameters/values of the IDF curves have not been updated since 1986. It is a particularly unpleasant situation as many activities are underway (reconstruction of the existing urban drainage systems, as well as implementation of adaptation and mitigation measures for climate change in urbanized areas).

This paper builds upon our recent work that has been published within the National Climate Report of Slovakia (Onderka and Pecho, 2022a) that contains local estimates of rainfall intensities calculated for return periods up to 1000 years and rainfall durations from 5 minutes to 300 minutes. However, it is necessary to interpolate the local estimates in space so that the design values of rainfall intensities can be retrieved also for un-gauged locations. The goals of this paper are therefore:

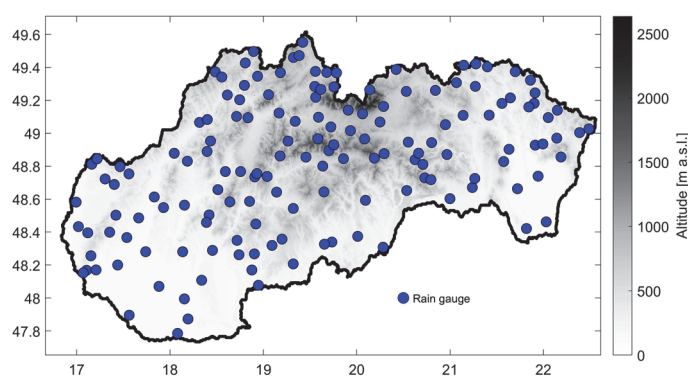
- (1) to briefly describe the computational framework we applied in estimating local (station-based) design values of rainfall intensities;
- (2) to parameterize the locally established intensity-duration-frequency relationships;
- (3) to interpolate local estimates rainfall intensities into a regular grid;
- (4) to present illustrative graphical outputs in the form of maps showing the overall spatial variability of design values for selected return periods and rainfall durations from 5 minutes to 24 hours.

DATA AND METHODS

Processing rainfall data

Data from a total of 183 rain gauges with 1-minute temporal resolution were processed. The period of time over which the rainfall data were processed ranges from 1991 to 2021, although some variability in the length of the time series exists between the individual rain gauges due to gaps in the time series. Rainfall was registered by two types of rain gauges, automatic instruments with capture area of 200 cm² (TRws 214 manufactured by MPS system Ltd.) and mechanical self-registering rain gauges with capture area of 250 cm² (METRA manufactured in the former Czechoslovakia). The exact locations of the rain gauges are shown in Fig. 1. First, raw 1-minute series of rainfall were screened for basic quality issues (identification of gaps, instrument

Figure 1. Map showing the study region and the locations of self-registering rain gauges (WGS84 projection).



failure, outliers etc.). Subsequently, the 1-minute data were aggregated to intensities with rainfall durations of 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360 ... 1440 minutes. Annual maxima of rainfall intensities were calculated for data from the warm part of the year (i.e. April to October). Suspicious data in the annual maxima series (based on a threshold) were visually inspected by plotting a short sequence of rainfall observations prior to and after a spurious value. Erroneous data were removed from the time series. For locations where both the automatic and mechanical self-registering rain gauges were in operation, their annual maxima were combined in order to achieve longer time series. The resulting number of unique locations is therefore 150. A more detailed description of the rain gauge data is provided in the National Climate Report of Slovakia (Onderka and Pecho, 2022a).

IDF relationship

A rainfall frequency estimate for a given location is defined as the intensity of rainfall for a specific duration that has a certain return period. When rainfall intensities are calculated for a range of durations and frequencies (return periods), the resulting set of curves are referred to as intensity-duration-frequency curves, also known in their abbreviated form as IDF curves. As Koutsaiannis and Iliopoulou (2022) recently noted, the term “IDF curve” is a misnomer. Instead of using duration, time scale of averaging is a more appropriate term, and frequency should be preferred to return period. Nevertheless, we stick with the traditional term in this paper. A new term “*ombrian curve*” (from the Greek word “*ombros*”, meaning rain in English) has been suggested for the mathematical relationship between average rainfall intensity, time scale of averaging and return period. Construction of IDF curves can follow two different approaches: local station-based independent fitting approach, which consists of separately fitting the curves to multiple gauged sites and using spatial interpolation methods to map the parameters in space; or the regional approach based on appropriately pooling the data together and obtaining a single model valid over the entire area of interest. Frequency of occurrence of a rare event can be defined in terms of annual exceedance probability or average return period. Annual exceedance probability is a probability associated with exceeding a given rainfall intensity for a specified duration at least once a year. For instance, a return period of 100 years is the average time between exceedances of a given intensity for a specified duration.

GEV distributions of rainfall intensities

Several methods have been developed that can be used to estimate GEV parameters: probability-weighted moments, maximum likelihood estimation (MLE), and Bayesian inference (Onderka et al., 2022 a, b; Coles, 2001). The Bayesian inference of distribution parameters is used in this paper, for it has previously proven to be robust against the issues of short time series (Coles, 2001; Onderka and Pecho 2022 a, in press). The GEV distribution is used here to model annual

maximum rainfall intensities. The cumulative distribution function $G(x)$ for the GEV distribution is given as:

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

where μ is the location parameter indicating where the extremes distribution is centered, σ is the scale parameter specifying the deviations around μ , and ξ is the shape parameter describing the tail behavior of the GEV distribution (Coles, 2001; Ragno et al., 2019; Cheng et al., 2014, 2015; Koutsoyiannis et al., 2004 a,b). In its limit form when $\xi \rightarrow 0$, the GEV distribution corresponds to the Gumbel distribution, for $\xi < 0$ to the Weibull distribution, and for $\xi > 0$ with the Fréchet distribution (Coles, 2001), but this notational convention is not always followed in hydrology. If we know the parameters of $G(x)$ than the estimated values of the extreme quantiles of annual maxima can be determined from the inverse function (2):

$$x = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \{-\log(1 - p)^{-\xi}\}] & \text{for } \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \log\{-\log(1 - p)\} & \text{for } \xi = 0, \end{cases} \quad (2)$$

where x is the quantile of rainfall intensity corresponding to the return period T . The x quantile can therefore be thought of as an intensity that is expected to be exceeded on average every T years. Alternatively, one may say that the rainfall intensity is exceeded in every single year with a probability p .

Bayesian inference of GEV parameters

Let θ be a vector with parameters of a distribution function and $y = \{y_1, \dots, y_m\}$ is another vector with observations, which can be a sequence annual maxima of rainfall intensities observed over m years. In Bayesian inference we use *a priori* likelihood of model parameters, i.e. probability density function of $p(\theta)$, in practice also commonly described as the *prior*. On the other hand, a posterior density function (*posterior*) $p(\theta | y)$ reflects our knowledge of a how a model behaves with the help of a *prior* and a *likelihood function* of observed data $p(y | \theta)$. From the Bayesian theorem (3) it follows that the probability of model parameters θ conditioned by observations y , i.e. the *posterior* ($\theta | y$) proportionally increases with θ (*prior*) and the probability of observations y conditioned by the parameters θ , i.e. $p(y | \theta)$:

$$p(\theta | y) \propto p(\theta) \prod_{i=1}^n p(y_i | \theta), \quad (3)$$

where $\propto$ is the symbol of proportionality and $\prod_{i=1}^n p(y_i | \theta)$ is the likelihood function (Onderka et al., 2022a; Agha-Kouchak et al., 2013; Coles, 2001; Ragno et al., 2019). Each parameter of the GEV distribution (μ , σ , ξ) has its own prior which values should be chosen on the basis of theoretical or empirical *a priori* knowledge. In cases when only a limited amount of data is available (e.g. short time series of rainfall data), the prior significantly affects the posterior.

Prior distribution

The choice of every parameter of the GEV distribution has a great impact on the distribution of the inferred quantile of rainfall intensities (posterior) especially in cases when we do not have a sufficiently long time series of observations. The shape parameter ξ dictates the behavior of the “heavy tails” of the distribution function containing rainfall extreme values. Koutsoyiannis et al. (2004a, 2004b) provided theoretical and empirical proofs that the commonly used Gumbel distribution (i.e. where $\xi \rightarrow 0$) is not a suitable option for analyzing rainfall extremes. In specifying the prior distribution for the shape parameter ξ we relied on the research of Ulrich et al. (2021), Lutz et al. (2020), Papalexou and Koutsoyiannis (2013), Koutsoyiannis et al. (2004 a, b) and Serinaldi and Kilsby (2014). Ulrich et al. (2021) estimated that the shape parameter ξ is as a function of rainfall duration from 1 minute to 120 hours with values $\in (0; 0.3)$. On the basis of these studies we chose the prior of the shape parameter $\xi \in N(0.15; 0.075)$, where 0.15 is the mean and 0.075 is standard deviation. Since the physical nature of rainfall intensities restricts the prior of the location parameter μ to be $\in N\{\text{mean}(y); \text{StDev}(y)\}$. The scale parameter σ was modelled in logarithmic scale, as described in Coles (2001) and Ragno et al. (2019). The prior of the scale parameter was defined to be within $\sigma \in N(0; 10)$. The Markov Chain Monte Carlo (MCMC) method was deployed to derive estimates of the model parameters θ yielding a large sample of model parameters that can be considered as realization from the posterior distribution $p(\theta | y)$. A detailed description of how we estimated the marginal distribution of the GEV parameters by using an MCMC sampler on sample data from the Hurbanovo station (Slovakia) can be found in our recently published paper (Onderka et al., 2022b).

Empirical intensity-duration-frequency relationships

Relationships between rainfall intensity, duration and frequency of occurrence can be graphically represented as IDF curves (Koutsoyiannis et al., 1998). The mathematical relationship between rainfall intensity i , duration D can be empirically expressed for each return period T (Koutsoyiannis et al., 1998):

$$i(D, T) = \frac{\lambda}{(D + \delta)^\eta}, \quad (4)$$

where D (min) is the duration, and λ , δ , η are empirical parameters. Eq. 4 is also known as the Sherman equation (Sherman, 1932). At the same time, the following restricting conditions apply for η and δ $0 < \eta \leq 1$ and $\delta \geq 0$. It is obvious, that the equation does not have an analytical solution. Therefore, we estimated its three parameters (λ , δ , η) by using the *Levenberg-Marquardt* optimization technique, where the minimum of mean squared error was used as the objective function. For each location (rain-gauge) separately, a set of IDF curves was fitted to rainfall quantiles (q) corresponding to return periods $T = 2\text{--}100$ years and durations D ranging from 5 to 1440 minutes.

Spatial interpolation of IDF parameters and rainfall design values

In this paper, we used the “*v.vol.rs*” package implemented within GRASS (Geographic Resources Analysis Support System). This package interpolates values from a 3-dimensional field of points to an interpolated 3-dimensional raster map. As we are interested in a 2-dimensional map showing the spatial variability of rainfall intensities, it is desirable taking a cross-sectional surface from the 3-D raster map. Specifying cross-input and cross-output option, one gets the output 2D raster map containing the cross-section of the interpolated volume with a surface defined by cross-input 2D raster map. The tension parameter controls the distance over which each given point influences the resulting volume. When the tension parameter is set to a high values, each grid point is affected only by the closest grid points. Higher values of the tension parameter reduce overshooting (Hofierka et al., 2002; Mitašová and Mitaš, 1993). For noisy data, it is possible to define a global smoothing parameter. With the smoothing parameter set to zero (smooth = 0) the resulting volume passes exactly through the data points. A spline function $S(x)$ is obtained by minimizing the deviation from the vector of observed data and the smoothness seminorm $I(S)$:

$$\sum_{j=1}^N |p^{[j]} - S(x^{[j]})|^2 w_j + w_0 I(S) = \text{minimum}, \quad (5)$$

where $p^{[j]}$ are the observations of rainfall intensities made at discrete points (rain gauges) $x^{[j]} = (x_1^{[j]}, \dots, x_d^{[j]})$, $j = 1, \dots, N$ within a region of a d -dimensional space, and where w_j and w_0 are weights and $I(S)$ is the smooth seminorm. In the case when $w_0/w_j = 0$ the spline function $S(x)$ passes exactly through the observed data points. This minimization problem (Eq. 1) is a sum of a trend function $T(x)$ and a *radial basis function* $R(x, x^{[j]})$:

$$S(x) = T(x) + \sum_{j=1}^N l_j R(x, x^{[j]}). \quad (6)$$

First, we need to define a tri-variate RST function. For N observations of rainfall $p^{[j]}$ at discrete points in space $x^{[j]} = (x_1^{[j]}, \dots, x_d^{[j]})$ the tri-variate function can be written as:

$$r = F(x_1, x_2) = S(x_1, x_2, cG(x_1, x_2)), \quad (7)$$

where c is a vertical scaling parameter, S is the tri-variate RST function.

The tension, smoothing and vertical scaling parameters in Eq. 7 can be chosen based on experience or by minimizing an objective function (e.g. the mean absolute error - MAE or the root mean square error - RMSE). It is important to note that the resolution and smoothing of the covariate (in our case the DEM model) impact the resulting spatial pattern of the gridded data crossing the intersection surface $G(x_i, x_j)$ and thus the spatial variability of the interpolated map of rainfall intensities $p = F(x_i, x_j)$. A detailed mathematical description is in the papers of Hofierka et al. (2002), Mitašová and Mitaš (1993). For the purposes of this paper, we used the *jack-knife* cross-validation procedure to evaluate the predictive accuracy of the RST function.

Using the *jack-knife* method, every point representing a rain-gauge location was temporarily excluded from the computation and interpolation error for this point location were computed. As a covariate in the RST function, we used the DEM with 500-horizontal resolution (JTSK03/Krovak projection - EPSG code: 8352). We used the “*v.vol.rst*” package to interpolate the IDF parameters (Eq. 4) and the local rainfall quantiles estimated for 150 locations (Eq. 2). As a result, we created 224 arrays of rainfall intensities corresponding to 2–100 year return T periods and durations D from 5 to 1440 minutes ($7 \times 32 = 224$).

The general concept of the multidimensional array of IDF relationship is depicted Fig. 2. The whole idea of using such an array is to extract rainfall quantiles for chosen durations D at any location in Slovakia.

RESULTS

Local IDF curves

To give an example of a set of station-based IDF curves we have plotted IDFs derived from rainfall data observed at the Bratislava - Koliba station in Fig. 3. To annual maxima series at this station cover the period 1995–2015.

To show the overall behavior of IDF curve parameters a statistical summary of the derived IDF parameters (λ , δ , η) over all rain gauges is indicated in Tab. 1. The median value of the λ parameter in Eq. 4 has an increasing tendency with return period (Tab. 1) with a value of 1973.33 for 2-year return period and up to 6591.66 for the 100-year return period. On the other hand, the remaining parameters δ and η do not seem to change considerably across the considered return periods. To illustrate a common shape of IDF curves the individual IDF curves generated for all 150 locations were pooled. The 2-year return period was chosen for an illustration (Fig. 4). Summary statistics on the underlying IDF curves was calculated. As shown in Fig. 3, the curve tapers off at durations below approx. 180 minutes. Above this “limit”, the IDF curves appear as straight lines in the log-log space (Fig. 3).

IDF envelope curves

As an upper bound of the derived IDF relationships across the whole territory of Slovakia we pooled the individual design values calculated for the 150 locations and calculated the 95th percentile for each duration D and return period T

Figure 2. Schematic description of IDF extraction from a multidimensional array with rainfall intensities corresponding to chosen durations D and return periods T .

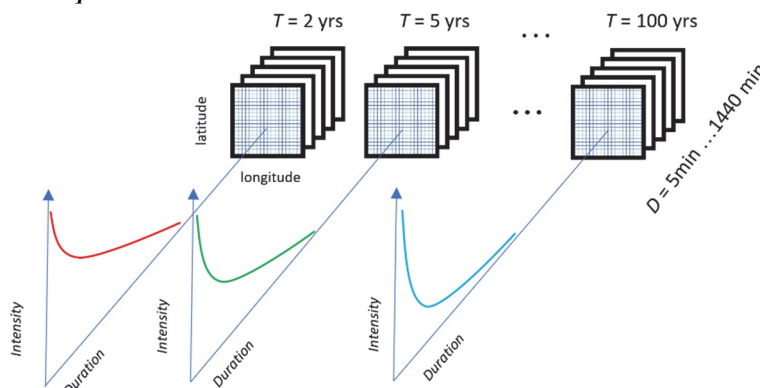
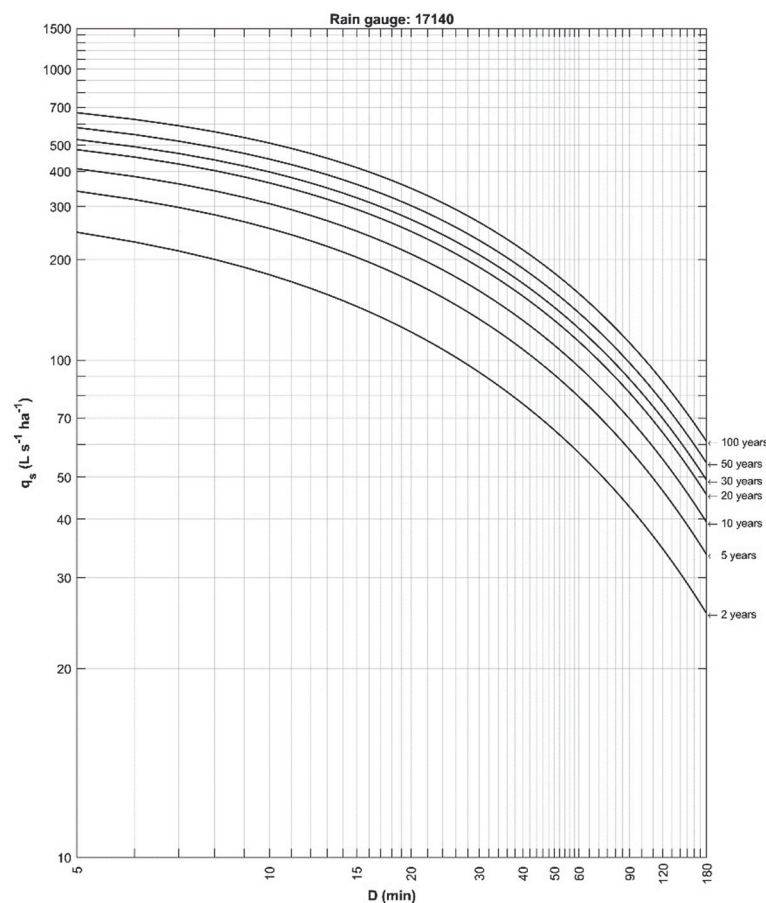


Figure 3. IDF curves derived for the Bratislava - Koliba location [Rain gauge ID 17140; longitude: 17.10611, latitude: 48.16778, altitude: 283 m]. Only durations from 5 to 180-minutes are shown for return periods $T = 2, 5, 10, 20, 30, 50$ and 100 years.



(Tab. 2). Fig. 4 illustrates an ensemble of intensity-duration relationships for the return period $T = 2$ years. Despite chosen arbitrarily, the 95th quantile approximates the concept of envelope curves. For the purposes of this paper an envelope curve is broadly defined as an upper percentile, i.e. the 95th percentile calculated of all values. Šamaj and Valovič (1973, page 28) used station-based rainfall intensities to

construct a single envelope curve for the whole territory of Slovakia. We compared the 95th percentiles calculated in our study (Tab. 2) with the maximum intensities (Tab. 3) that were calculated in the past by Dub (1946) and Šamaj and Valovič (1973). For instance, the previously reported 5-minute rainfall intensities of 883 L.s⁻¹.ha⁻¹ (Šamaj and Valovič, 1973) and 900 L.s⁻¹.ha⁻¹ (Dub, 1946) correspond with the 30 to 50-year intensities (Tab. 2). For duration $D = 10 \dots 120$ minutes the maximum intensities observed in the past correspond to the return period 50–100 years.

Interpolated IDF parameters and design values of rainfall

The mean absolute error (MAE) was used to optimize the choice of parameters in the RST interpolation model (tension, smoothing and vertical scaling). The MAE measured differences between predicted (interpolated) values and the actually observed values (local estimates of quantiles). Tab. 4 shows the minimized MAE values calculated by the *jack-knife* (leave-one-out resampling) method. To assess the performance of the interpolation model, the local quantiles are plotted against the interpolated values (Fig. 5). Although shown only for hourly and sub-hourly durations, the coefficient of determination R^2 is above 0.9 and tends to increase with the duration D .

The interpolated parameters λ , δ , η of the IDF relationship (Eq. 5) are depicted in Fig. 6–8. Although these interpolated parameters were not further used in the calculations of quantiles for un-gauged locations, the spatial pattern of these parameters shows the complexity of IDF relationships. Finally, the interpolated local quantiles of rainfall design values are presented in Fig. 9–13.

Table 1. Descriptive statistics of the IDF parameters ($n = 150$).

T (years)	2	5	10	20	30	50	100
λ parameter							
Minimum	958.33	1258.33	1430.00	1636.67	1765.00	1921.67	2085.00
Maximum	5536.66	9928.33	14286.66	18031.66	20343.33	23414.99	27894.99
Median	1973.33	3041.67	3836.67	4658.33	5088.33	5695.00	6591.66
St.Dev	846.67	1583.33	2231.67	2835.00	3195.00	3670.00	4351.66
δ parameter							
Minimum	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	17.53	23.92	30.82	35.15	37.31	39.76	42.67
Median	6.39	7.12	7.32	7.34	7.37	7.39	7.60
St.Dev	3.16	4.31	5.07	5.62	5.90	6.21	6.58
η parameter							
Minimum	0.66	0.67	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67
Maximum	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Median	0.84	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88
St.Dev	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09

Table 2. Envelope-curve generating data (95th percentile) obtained from local IDF curves ($n = 150$ locations). Intervals covering the maximum intensities of Dub (1946) and Šamaj and Valovič (1973) are indicated in bold (printed in bold).

T (years)		2	5	10	20	30	50	100
D (min)	5	333.97	494.94	618.85	743.57	821.80	928.93	1083.04
	10	244.30	345.27	424.87	518.06	573.43	638.97	739.97
	15	194.36	273.02	332.75	400.06	443.36	496.62	577.22
	20	162.31	228.79	280.06	333.70	368.10	412.00	478.05
	30	123.59	175.19	216.30	260.28	285.86	320.32	371.56
	40	100.97	142.06	176.61	212.20	233.15	261.53	302.67
	50	85.49	121.07	150.06	177.77	195.36	219.49	256.90
	60	73.81	105.47	129.69	154.84	170.72	192.26	224.57
	90	52.59	76.24	94.13	113.55	124.56	139.69	162.72
	120	41.93	60.23	74.73	91.05	99.95	111.32	129.44
	180	30.58	43.80	54.59	65.82	72.62	81.70	95.08
	240	24.39	34.61	43.07	51.96	57.49	64.77	75.73
	300	20.43	28.68	35.61	42.86	47.66	53.67	62.97
	360	17.58	24.80	30.62	37.15	41.21	46.30	53.94
	420	15.49	22.03	27.14	32.91	36.51	41.08	47.60
	480	13.89	19.96	24.62	29.63	32.87	36.99	42.88
	540	12.64	18.32	22.59	27.00	29.96	33.67	39.11
	600	11.69	16.87	20.95	24.85	27.57	30.95	36.02
	660	10.87	15.57	19.56	23.07	25.57	28.68	33.44
	720	10.13	14.44	18.18	21.66	23.94	26.81	31.24
	780	9.50	13.46	16.93	20.44	22.53	25.24	29.39
	840	8.97	12.68	15.87	19.29	21.30	23.88	27.80
	900	8.51	12.04	15.06	18.21	20.22	22.67	26.41
	960	8.10	11.47	14.36	17.36	19.23	21.40	25.00
	1020	7.72	10.96	13.72	16.56	18.33	20.43	23.71
	1080	7.38	10.50	13.15	15.82	17.51	19.60	22.61
	1140	7.07	10.09	12.64	15.15	16.78	18.84	21.68
	1200	6.79	9.71	12.16	14.55	16.11	18.15	20.87
	1260	6.53	9.38	11.73	13.99	15.49	17.51	20.13
	1320	6.30	9.09	11.26	13.48	14.93	16.87	19.46
	1380	6.09	8.79	10.82	13.01	14.41	16.29	18.84
	1440	5.90	8.52	10.42	12.57	13.93	15.75	18.26

Table 3. Maximum rainfall intensities in Slovakia calculated in the past by O. Dub (1946) and Šamaj and Valovič (1973).

	D (min)	5	10	15	20	30	60	90	120
O. Dub (1946)	i (L.s ⁻¹ .ha ⁻¹)	900	637	510	431	325	200	145	120
Šamaj and Valovič (1973)	i (L.s ⁻¹ .ha ⁻¹)	883	680	550	466	366	238	180	146

Figure 4.
Ensembled Intensity-Duration relationships generated for return period $T = 2$ years. The descriptive statistics is based on the individual Intensity-Duration relationship ($n = 150$ locations). A slight tapering of the curve is present at durations D below approximately 180 minutes.

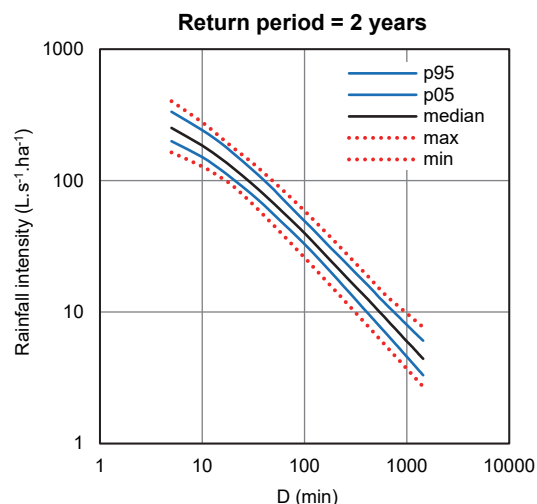


Figure 5. Cross-validation of local rainfall intensities versus interpolated rainfall intensities ($n = 150$) for: (A) 5-minute durations; (B) 15-minute durations; (C) 30-minute durations; and (D) 60-minute durations.

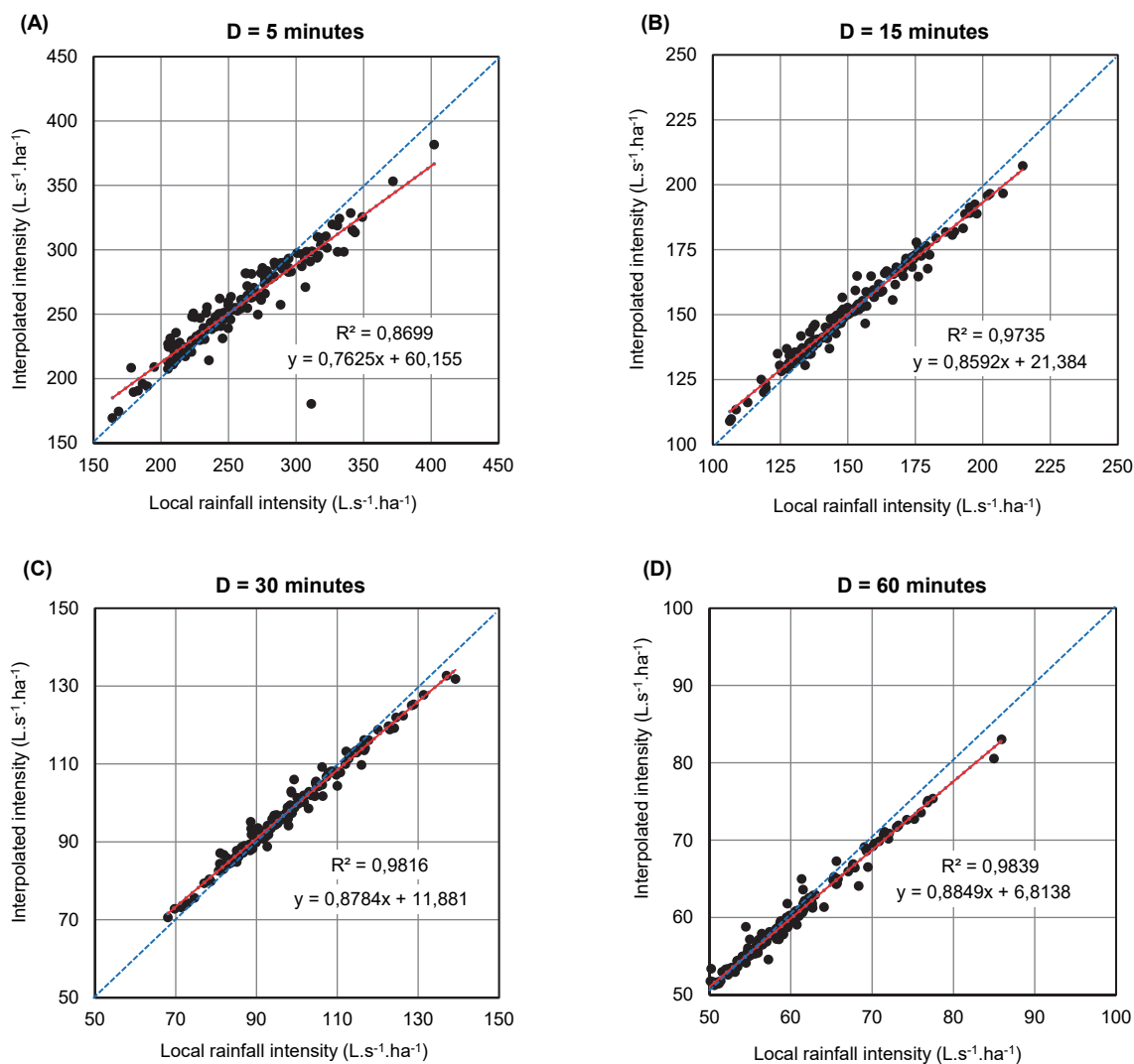


Table 4. Mean absolute errors – MAE ($L.s^{-1}.ha^{-1}$). MAE was calculated by the jack-knife (leave-one-out resampling) method ($n = 150$).

T (years)		2	5	10	20	30	50	100
D (min)	5	44.3197	79.7213	106.8560	135.5110	153.0290	176.1240	336.9060
	10	23.0248	46.4670	63.3801	81.5755	92.7252	107.2990	206.7940
	15	16.6696	33.8471	46.5480	59.9005	68.0951	78.9484	153.2820
	20	13.4605	24.1543	37.3007	48.2313	54.9493	63.7492	124.8760
	30	9.9024	17.5667	24.5930	32.2739	40.3967	47.0540	93.4188
	40	7.9070	14.0826	19.6038	25.7554	29.5837	34.6667	75.1927
	50	6.6389	11.8084	16.3503	21.4807	24.6927	28.9711	63.1964
	60	5.7546	10.2287	14.2129	18.6702	21.4627	25.1809	54.9841
	90	4.1890	7.3932	10.2198	13.4053	15.4094	18.0753	37.4345
	120	3.3616	5.8778	8.1123	10.5622	12.1361	14.2322	29.6392
	180	2.4922	4.3493	5.9662	7.7257	8.8346	10.3071	21.3996
	240	2.0455	3.5505	4.8421	6.2398	7.1173	8.2875	16.9629
	300	1.7741	3.0403	4.1392	5.3152	6.0430	7.0344	14.3298
	360	1.5793	2.6783	3.6275	4.6558	5.2827	6.1269	12.4960
	420	1.4357	2.4247	3.2702	4.1952	4.7554	5.5123	11.2090
	480	1.3180	2.2174	2.9796	3.8118	4.3230	5.0079	10.1584
	540	1.2227	2.0507	2.7520	3.5109	3.9759	4.6007	9.3433
	600	1.1473	1.9234	2.5809	3.2922	3.7284	4.3127	8.7605
	660	1.0806	1.8067	2.4214	3.0879	3.4974	4.0440	8.1876
	720	1.0275	1.7191	2.3028	2.9404	3.3300	3.8494	7.7822
	780	0.9781	1.6323	2.1824	2.7886	3.1586	3.6538	7.3605
	840	0.9383	1.5668	2.0968	2.6815	3.0383	3.5180	7.0684
	900	0.9000	1.4978	2.0049	2.5647	2.9058	3.3648	6.7371
	960	0.8703	1.4480	1.9428	2.4843	2.8161	3.2599	6.5198
	1020	0.8396	1.3928	1.8683	2.3884	2.7077	3.1342	6.2582
	1080	0.8215	1.3679	1.8383	2.3495	2.6648	3.0828	6.1505
	1140	0.7962	1.3233	1.7760	2.2689	2.5735	2.9766	5.9343
	1200	0.7803	1.2973	1.7403	2.2204	2.5174	2.9097	5.7787
	1260	0.7585	1.2591	1.6881	2.1526	2.4407	2.8207	5.6025
	1320	0.7423	1.2326	1.6513	2.1052	2.3857	2.7569	5.4564
	1380	0.7232	1.1994	1.6059	2.0469	2.3196	2.6799	5.3050
	1440	0.7053	1.1684	1.5635	1.9924	2.2577	2.6081	5.1637

Figure 6. Spatial patterns of the λ parameter in the IDF relationship (Eq. 4) estimated for return period $T = 10$ years.

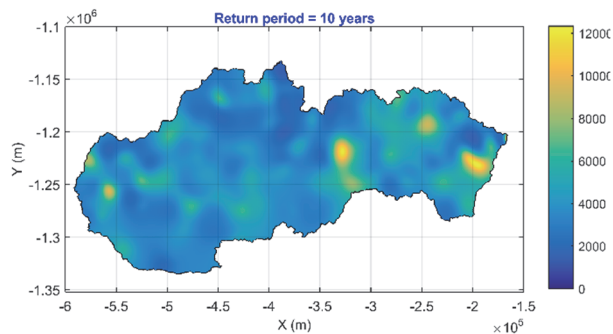


Figure 7. Spatial patterns of the δ parameter in the IDF relationship (Eq. 4) estimated for return period $T = 10$ years.

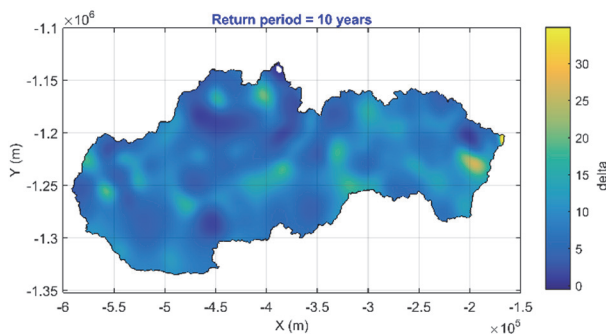


Figure 8. Spatial patterns of the η parameter in the IDF relationship (Eq. 4) estimated for return period $T = 10$ years.

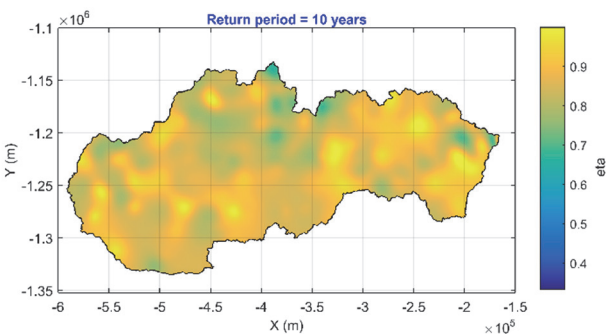


Figure 9. Maps of 5-minute rainfall intensities with return period $T = 2, 5, 20, 100$ years.

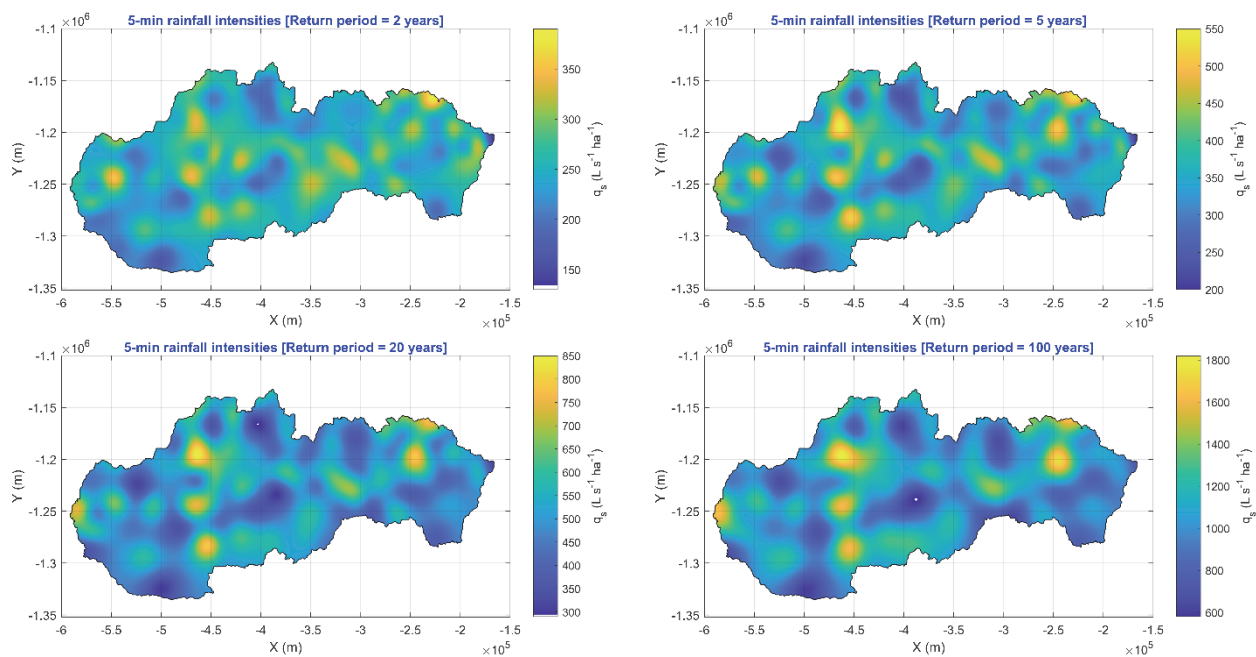


Figure 10. Maps of 15-minute rainfall intensities with return period $T = 2, 5, 20, 100$ years.

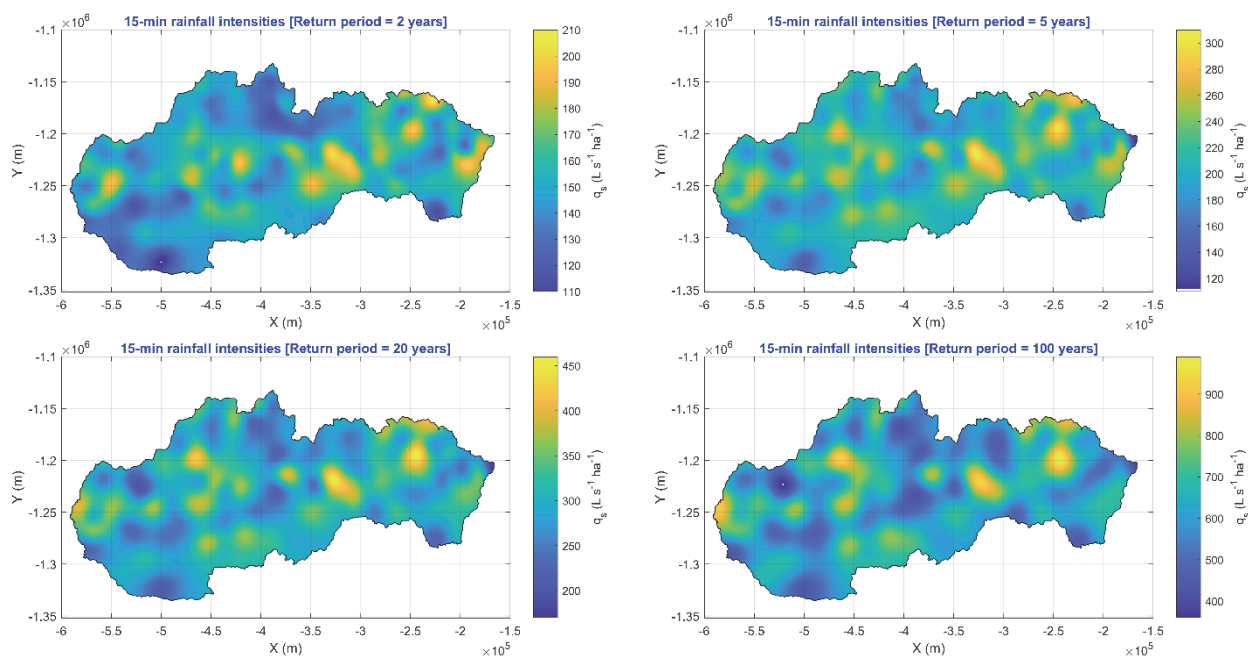
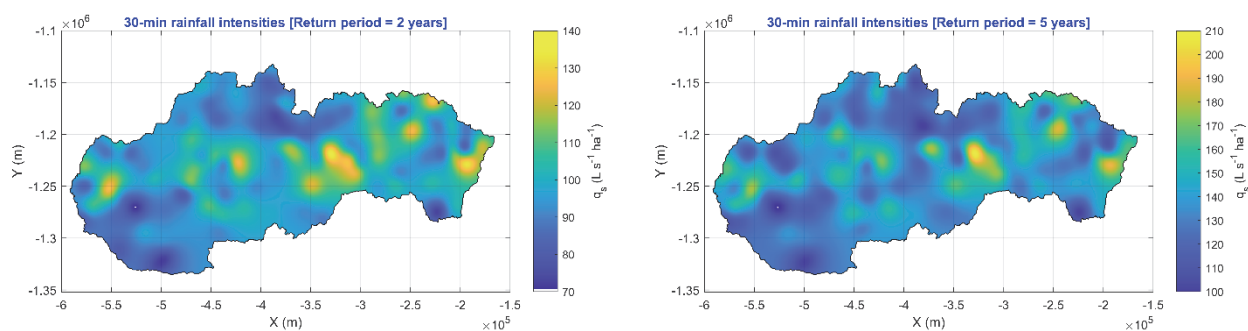


Figure 11. Maps of 30-minute rainfall intensities with return period $T = 2, 5, 20, 100$ years.



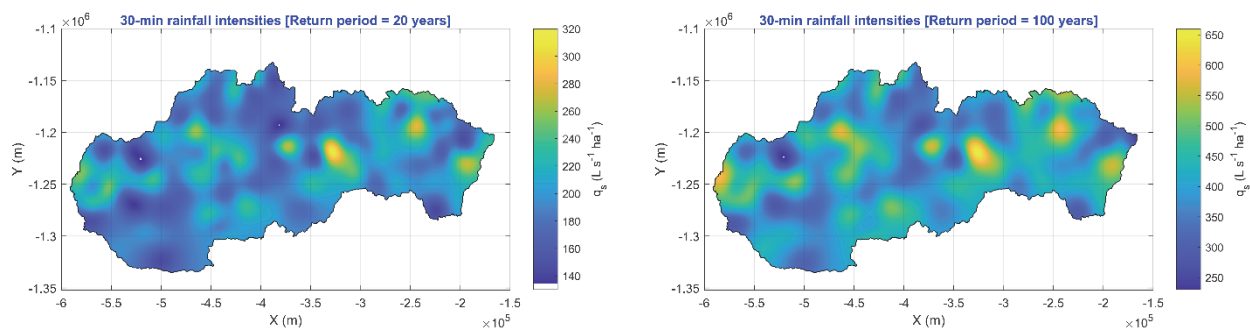


Figure 12. Maps of 60-minute rainfall intensities with return period $T = 2, 5, 20, 100$ years.

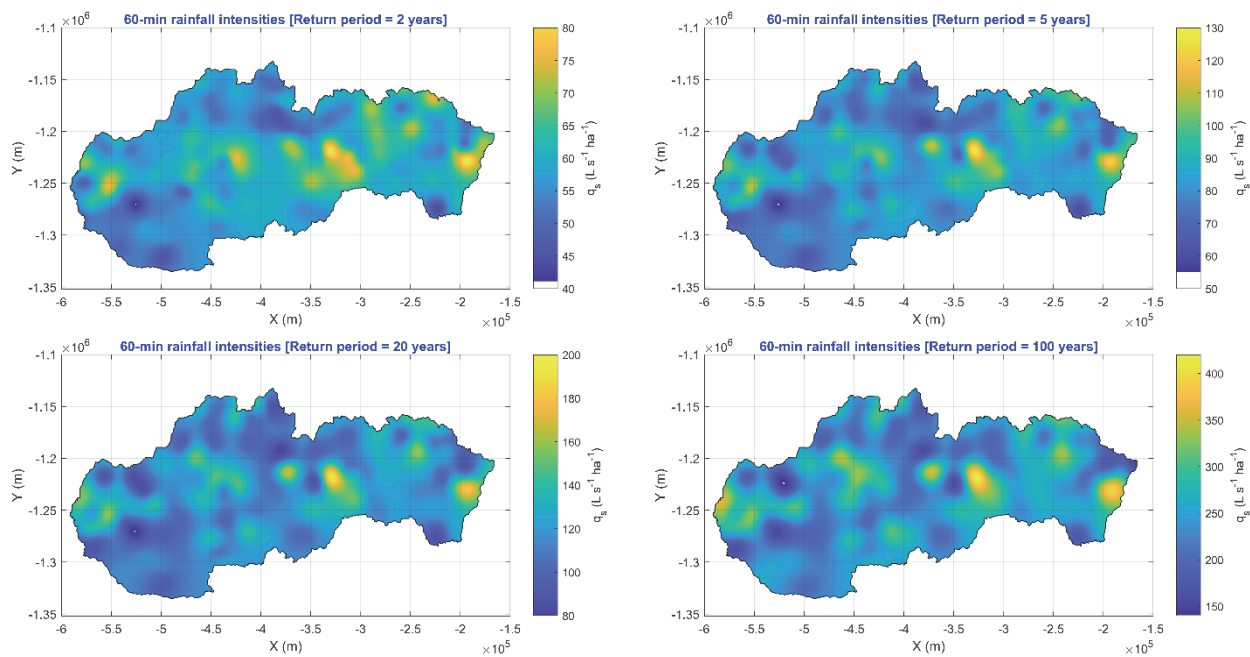
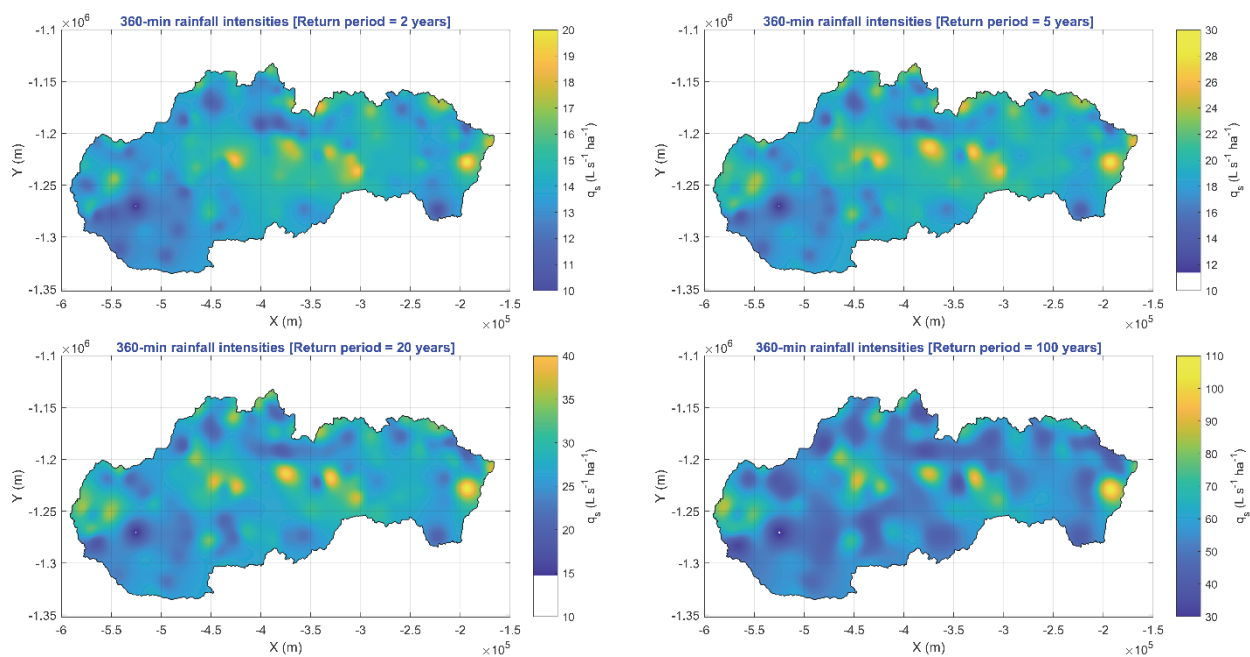


Figure 13. Maps of 360-minute rainfall intensities with return period $T = 2, 5, 20, 100$ years.



DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Previous works concerned with IDF curves in Slovakia are rather outdated and may not necessarily serve their purpose anymore. In this study, we introduced an updated set of IDF curves using the most recent data covering the period between 1990 and 2020. The horizontal resolution of the resulting maps of gridded rainfall frequencies is 500 meters. Orography has a dominant effect on the dynamics of precipitation in the investigated region of Slovakia (Briedoň, 1961). Orographic effects, particularly the positive relationship between elevation and rainfall total over large temporal scales (hourly, daily, monthly, annual) have been widely studied. On the daily or hourly time scale, precipitation-elevation gradients are more complicated as differences in meteorological conditions due to static stability, flow direction and strength, freezing level between individual precipitation events dictate the variations of the precipitation-elevation relationship (Haiden and Pistotnik, 2009). To incorporate the effects of orography on the spatial pattern of rainfall intensities we applied the regularized spline with tension approach (Mitašová and Mitaš, 1993; Hofierka et al., 2002). A DEM model was used as a covariate to interpolate the locally estimated design values of rainfall intensities. This helped us to take into account the effects of orography on rainfall intensities. Consequently, local estimates of intensities have been determined for locations without rain gauges. It remains an interesting avenue for our future research to investigate the effects of orographic barriers on rainfall intensities on the leeward and windward slopes of mountains, valleys and mountain ridges. Rainfall extremes may increase in the future due to the elevated water capacity of the atmosphere (Onderka et al., 2020a, 2021). The individual layers have been stacked into a multidimensional cube from which we can abstract IDF curves specifying the requested return level for any location within the territory of Slovakia. Examples displaying the derived raster maps illustrate the spatial variability of rainfall intensities. It is necessary to create a user-friendly graphical interface in order to facilitate the use of the presented work by the climatological service of the Slovak Hydrometeorological Institute. Because the IDF curves are computed using historical observations of rainfall, our plan is to update the herein presented IDF relationships on a regular basis to reflect any changes in rainfall extremes in the future. We are convinced that the updated IDF curves will be beneficial especially for the community of civil engineers. As mentioned in the introduction section, the last update of IDF curves in Slovakia was made in 1986 (Urcikán and Imriška, 1986). Over the past decades, the total number of mechanical self-registration rain gauges increased, and additional automatic rain gauges have been installed throughout the entire territory of Slovakia. Climate change is another important reason to update the rainfall frequency estimates for the entire territory of Slovakia (Onderka and Pecho, 2021). Creating an atlas of IDF curves is a highly relevant task particularly for design of hydraulic infrastructure and evaluation of its hydraulic capacity, prevention of flooding

events in urban areas, and eventually also for adaptation and mitigation measures in urban catchments. In the near future, an amendment to the Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment is underway. This amendment shall include a comprehensive assessment of wastewater management in urbanized areas, which should be reflected in the development of the Integrated urban wastewater management plans, which will be focused on initial situation analysis, definition of the objectives for the pollution reduction from storm water overflows (combined sewer overflows - CSO's) as well as the measures to be taken. We anticipate that this atlas will be appreciated especially by stake-holders involved in the ongoing Integrated urban wastewater management plans involving up to about 80 cities in Slovakia.

Acknowledgement

The research presented in this paper would not be possible without the following grants: *Scientific support of climate change adaptation in agriculture and mitigation of soil degradation* (ITMS2014 + 313011W580), supported by the Integrated Infrastructure Operational Programme and funded by the ERDF, and the national VEGA grant no. 2/0003/21 “*Complex analysis of the effects of rising air temperature on rainfall extremes in Slovakia.*”

REFERENCES

- AghaKouchak, A.–Easterling, A. et al., 2013, *Extremes in a Changing Climate: Detection, Analysis and Uncertainty*. Dordrecht: Springer. ISBN 978-94-007-4479-0.
- Bara, M.–Kohnová S.–Gáal, L.–Szolgay, J.–Hlavčová, K., 2009, *Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia. Contributions to Geophysics and Geodesy. Vol. 39*, 187–206. ISSN 1338-0540.
- Bedient, P.–Huber, W.–Vieux, B., 2008, *Hydrology and Floodplain Analysis: International Edition. 4th ed.* Pearson Education (US). ISBN: 9780132422864.
- Briedoň, V., 1961, *Príspevok k závislosti zrážok od nadmorskej výšky v československej oblasti Karpát. In: Príspevok k meteorológii Karpát. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied v Bratislave*, 212–220.
- Cheng, L.–AghaKouchak, A., 2015, *Nonstationary Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves for Infrastructure Design in a Changing Climate. Scientific Reports Nature. Vol. 4*. ISSN 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/srep07093>.
- Cheng, L.–Aghakouchak, A.–Gilleland, E.–Katz, R.W., 2014, *Non-stationary extreme value analysis in a changing climate. Climate Change. Vol. 27*. 353-69. ISSN 0165-0009.
- Coles, S., 2001, *An introduction to statistical modeling of extreme values*. London: Springer-Verlag. ISBN 978-1-4471-3675-0. <https://doi:10.1007/978-1-4471-3675-0>.
- Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (OJ L 135, 30.5.1991, 40–52), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31991L0271>.
- Dub, O., 1946, *Režim veľkých vôd na malých tokoch. Štátny ústav hydrologický*. Bratislava.
- Dzubák, M., 1969, *Stanovenie zákona rozdelenia maximálnych denných zrážkových úhrnov pomocou globálnych čiar prekročenia. Vodohospodársky časopis SAV. Vol 1*.

- Gaál, L., 2009, *Metódy výpočtu štatistických charakteristík návrhových hodnôt úhrnov zrážok na Slovensku*. Ostrava: Key Publishing, ISBN 978-80-7418-047-7.
- Haiden, T.–Pistotnik G., 2009, *Intensity-dependent parameterization of elevation effects in precipitation analysis* Adv. Geosci., 20, 33–38.
- Hofierka, J.–Parajka, J.–Mitašová, H.–Mitaš, L., 2002, *Multivariate interpolation of rainfall using regularized spline with tension*. Transactions in GIS. 6(2). 135–150, <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00101>.
- Koutsoyiannis, D., 2004a, *Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation*. Hydrological Sciences Journal. Vol. 49. (4), 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 (4), ISSN 2150-3435. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.4.591.54424>.
- Koutsoyiannis, D.–Kozonis, D.–Manetas, A., 1998, *A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships*. Journal of Hydrology. Vol. 206. 118–135. ISSN 1879-2707.
- Koutsoyiannis, D.–Iliopoulou, T., 2022, *Ombrian curves advanced to stochastic modeling of rainfall intensity*. Chapter 9. Rainfall. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822544-8.00003-2>
- Kupčo, M., 1985, *Stanovenie krátkodobých zrážkových úhrnov na Slovensku pomocou globálnych čiar prekročenia*. Zborník prác SHMÚ. Zv. 25, 1985. Bratislava: ALFA, 9–87.
- Kupčo, M.–Nejedlík, P.–Onderka, M., 2021, *Problém určovania intenzít krátkodobých dažďov na Slovensku*. Meteorologický časopis. Vol. 24. 3–10. ISSN 1335-339X.
- Lutz, J.–Grinde, L.–Dyrhø, A.V., 2020, *Estimating rainfall design values for the city of Oslo. Norway - Comparison of methods and quantification of uncertainty*. Water. Vol. 12, 1735. ISSN 2073-4441. <https://doi.org/10.3390/w12061735>.
- Mitašová, H.–Mitaš, M., 1993, *Interpolation with generalized spline with tension: I. Theory and implementation*. Mathematical Geology. Vol. 25. 641–655. <https://doi.org/10.1007/BF00893171>.
- Onderka, M.–Pecho, J.–Markovič, L.–Nejedlík, P., 2020a, *Are rainfall extremes becoming non-stationary due to global warming? A case-study from Slovakia*. Meteorologické zprávy. Vol. 73. 138–145. ISSN 0026-1173.
- Onderka, M.–Pecho, J., 2021, *Sensitivity of selected summertime rainfall characteristics to pre-event atmospheric and near-surface conditions*. Atmospheric Research. Vol. 259. s. 105671. ISSN 1873-2895. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105671>.
- Onderka, M.–Pecho, J.–Nejedlík, P., 2020b, *On how rainfall characteristics affect the sizing of rain barrels in Slovakia*. Journal of Hydrology - Regional Studies. Vol. 32. s. 100747. ISSN 2214–5818. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100747>.
- Onderka, M.–Pecho, J., 2022a, *Národný klimatický program Slovenskej republiky. Zväzok 17–22. Návrhové hodnoty intenzít na Slovensku – lokálne odhady*, s. 486, Slovenský hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-99929-40-2.
- Onderka, M.–Pecho, J.–Bodinger, L.–Bičárová, S.–Lukasová, V., 2022b, *Vzťahy medzi intenzitou, trvaním a frekvenciou krátkodobých dažďov určené pomocou bayesovskej inferencie parametrov GEV rozdelenia*. Meteorologické zprávy. Vol. 75(3). 81–88. ISSN 0026-1173.
- 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>.
- Ragno, E.–Aghakouchak, A.–Cheng, L.–Sadegh M., 2019, *A generalized framework for process-informed non-stationary extreme value analysis*. Advances in Water Resources. Vol. 130. 270–282. ISSN 1872-9657. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.06.007>.
- Serinaldi, F.–Kilsby, C., 2014, *Rainfall extremes: Toward reconciliation after the battle of distributions*. Water Resources Research. Vol. 50(1), 336–352. ISSN 1944-7973, <https://doi.org/10.1002/2013WR014211>.
- STN 75 6101, 2002, *Slovak Technical Standard 75 6101: Stokové siete a kanalizačné prípojky (Sewer networks and sewage connections)*. SUTN, Slovak Institute of Technical Standardization, November 2002, 40 p. Consent for quoting was granted by the Office for Standardization, Metrology and Testing of the Slovak Republic under No. ÚNMS/00427/2020-702/000364/2020.
- STN EN 16933-2 (75 6111), 2018, *Slovak Technical Standard EN 16933-2 (75 6111): Drains and sewer systems outside buildings - Design - Part 2: hydraulic design*. ÚNMS SR, Slovak office of Standards, Metrology and Testing, March 2018, 40 p. Consent for quoting was granted by the Office for Standardization, Metrology and Testing of the Slovak Republic under No. ÚNMS/00427/2020-702/000364/2020.
- Šamaj, F.–Valovič, Š., 1973, *Intenzity krátkodobých dažďov na Slovensku*. Zborník prác Hydrometeorologického ústavu. č. 5. s. 84. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo.
- Sherman, C.W., 1932, *Frequency and Intensity of Excessive Rainfalls at Boston-Massachusetts*. Transactions, ASCE, 95, 951–960.
- Ulrich, J.–Fauler, F.S.–Rust, H.W.–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>.
- Urcikán, P.–Imriška, L., 1986, *Stokovanie a čistenie odpadových vôd*. Tabuľky na výpočet stôk. Bratislava: ALFA-SNTL.

ZHODNOTENIE DEKÁDNYCH TRENDOV VYBRANÝCH TEPLOTNÝCH CHARAKTERISTÍK A DNÍ S CHARAKTERISTICKOU TEPLOTOU VZDUCHU NA SLOVENSKU ZA OBDOBIE 1951 – 2020

DOMINIKA ŠADLÁKOVÁ

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava
Dominika.Sadlakova@fmph.uniba.sk

The paper analyses the characteristics of mean air temperature (T_{pr}), maximum air temperature (T_{max}) and minimum air temperature (T_{min}) recorded in the SHMÚ station network (55 sites) primarily from 1951, respectively from 1961 to 2020. The temperature characteristics were modelled using the "loess" method, which uses local regression. In the presented results the time interval of the whole period (70 or 60 years) but also individually during decades (10 years) are used. The results show that all monitored temperature characteristics show an increasing trend, with the least significant increase observed during the individual decades confirmed at the Lomnický štít station. As the global mean temperature increases, characteristics such as the frequency of summer days and tropical days, which occur more frequently at stations than in the past, also tend to increase. On the contrary, we have seen a decline in ice days, frost days and days with strong frost, which are gradually diminishing.

V článku sú analyzované charakteristiky priemernej teploty vzduchu (T_{pr}), maximálnej teploty vzduchu (T_{max}) a minimálnej teploty vzduchu (T_{min}), zaznamenané v staničnej sieti SHMÚ (55 lokalít) primárne od roku 1951, resp. od 1961 do 2020. Teplotné charakteristiky boli modelované pomocou metódy "loess", ktorá využíva lokálnu regresiu. V prezentovaných výsledkoch je použitý časový interval celého obdobia (70, resp. 60 rokov), ale aj jednotlivé desaťročia (10-ročie). Z výsledkov vyplýva, že všetky sledované teplotné charakteristiky vykazujú rastúci trend, pričom najmenej výrazný nárast sledovaný počas jednotlivých dekád sa potvrdil na stanici Lomnický štít. S narastajúcou priemernou globálnou teplotou vzduchu majú tendenciu zvyšovať sa aj také charakteristiky, ako je početnosť letných dní a tropických dní, ktoré sa vyskytujú na staniách častejšie ako v minulosti. Naopak, pokles sme zaznamenali pri ľadových dňoch, mrazových dňoch a dňoch so silným mrazom, ktoré postupne ubúdajú.

Key words: decadal analysis, local regression, Slovakia, air temperature, extreme air temperatures, days with characteristic temperature

ÚVOD

Problematika globálneho otepľovania a s ňou spojený rast teploty vzduchu je záujmovou témou mnohých klimatológov na globálnej úrovni. Otepľovanie atmosféry je sledované celosvetovo (napr. Brown et al., 2008), v európskom priestore (Yan et al., 2002), ale aj na Slovensku (Labudová et al., 2015; Pecho a Turňa, 2018; Onderka a Pecho, 2023). Rovnako poukazuje na tento problém aj Medzivládny panel pre zmenu klímy, ktorý pravidelne publikuje IPCC správy, kde analyzujú aktuálny stav a modelujú budúce scenáre klímy. Najnovšia správa WMO a Met Office, ktorá vyšla v roku 2022, predpokladá, že globálna teplota Zeme bude vyššia v období rokov 2022 až 2026 o 1,1 až 1,7 °C ako je predindustriálny priemer (1850 – 1900) (WMO, 2022).

Túto zmenu na Slovensku môžeme pozorovať prevažne od 80. až 90. rokov 20. storočia. Pecho a Turňa (2018) poukazujú na to, že ročná priemerná teplota vzduchu za obdobie rokov 1991 – 2017 stúpila na sledovaných staniách o 1 až 1,3 °C v porovnaní s obdobím rokov 1951 – 1980.

S rastom hodnôt teplotných charakteristík je spojený aj nárast dní s charakteristickou teplotou. Významný vplyv majú tropické dni a zvyšujúci sa počet takýchto dní bezprostredne za sebou, pričom s poklesom a neefektivitou

zrážok sa tento stav vyvíja do výskytu až extrémnych vln horúčav (ang. heat waves) a následných období sucha (Onderka a Pecho, 2023; Babin et al., 2021; Labudová et al., 2015). Tieto klimatické fenomény sú závažným problémom pre poľnohospodársku výrobu, distribúciu pitnej vody, výšku hladiny riek a jazier, ale aj pre socio-ekonomickú sféru. Nárast priemernej teploty vzduchu v zimnom období spôsobuje úbytok chladných dní, čím vytvára miernejšie zimné podmienky s častejším výskytom daždivých dní a s menším výskytom snehových zrážok.

ÚDAJE A METODIKA SPRACOVANIA

Údaje

Údaje použité pre účely tejto štúdie boli namerané v staničnej sieti Slovenského hydrometeorologického ústavu. Vstupné dáta v trendovej analýze boli aplikované prevažne vo forme mesačných priemerov maximálnej teploty vzduchu (T_{max}), minimálnej teploty vzduchu (T_{min}) a priemernej teploty vzduchu (T_{pr}), ktoré sa ďalej agregovali na dlhší časový interval.

Dáta pre analýzu dní s charakteristickou teplotou vzduchu boli vo forme mesačnej početnosti takýchto dní.

Ďalej sme ich agregovali do dlhších časových období, pričom výsledky prezentujeme graficky. Celkovo sme vybrali 5 typov takýchto dní, a to ľadový deň (maximálna denná teplota vzduchu dosiahne nižšiu teplotu ako 0 °C), letný deň (maximálna denná teplota vzduchu dosiahne rovnú alebo vyššiu hodnotu ako 25 °C), tropický deň (maximálna denná teplota vzduchu dosiahne rovnú alebo vyššiu hodnotu ako 30 °C), mrazový deň (minimálna denná teplota vzduchu klesne pod 0 °C) a deň so silným mrazom (minimálna denná teplota vzduchu dosiahne –10 °C alebo menej).

Vybrané územie a selekcia staníc

Naším cieľom bolo zo staničnej siete SHMÚ vybrať stanice, ktoré by tvorili vhodnú reprezentatívnu vzorku pre územie Slovenska a tiež obsahovali dostatočne dlhý časový rad pozorovaní. Aby sme správne vyselektovali vhodné klimatologické stanice, zvolili sme základné kritériá:

1. Staničný časový rad sa začína rokom 1951, resp. 1961, a končí rokom 2020.
2. Úplnosť časového radu údajov je aspoň 90 %.

Po zavedení týchto kritérií sa náš počet staníc znížil na 42. Avšak, naše požadované priestorové pokrytie Slovenska sme nepovažovali za dostačujúce, preto sme počet staníc doplnili o ďalších 13 staníc. Tieto stanice majú začiatok merania od roku 1961, pričom ich interval začiatku merania je v rozmedzí rokov 1964–1977 s požadovanou úplnosťou dát 100–90 %.

Výsledný počet staníc je 55. Ich geografické rozmiestnenie je zobrazené na Obr. 1. Tento počet považujeme za dostatočne reprezentatívny a údajovo kvalitný pre analýzu charakteristických klimatických podmienok na Slovensku.

Metodika spracovania

Ako je uvedené vyššie, mesačné priemery sme ďalej spracovali na 10-ročné intervaly, pričom sme použili aritmetický priemer. Následne sme na agregované dáta aplikovali loess (lokálnu regresiu). Lokálna regresia je často používaným neparametrickým modelom, ktorý vyhladzuje časový rád (Jacoby, 2000).

Číselnú hodnotu nárastu sme vyjadrili rozdielom priemernej prvej a poslednej dekády pre konkrétnu meteorologickú stanicu. Týmto postupom sme vyjadrili nárast odchýlky teploty počas celého obdobia. Avšak v článku prezentujeme aj nárast odchýlok jednotlivo počas dekád od 1951 do 2020.

Pre všetkých 5 typov charakteristických dní sme vypočítali ich priemerný počet v dekádach rokov, čím sme dosiahli celkovo 7 časových tried. Výsledkom je 5 histogramov, kde sú znázornené početnosti výskytu staníc na intervaloch zmeny početnosti dní. Tieto výsledky sú rozdielom hodnôt poslednej a prvej dekády pre všetky vybrané typy charakteristických dní.

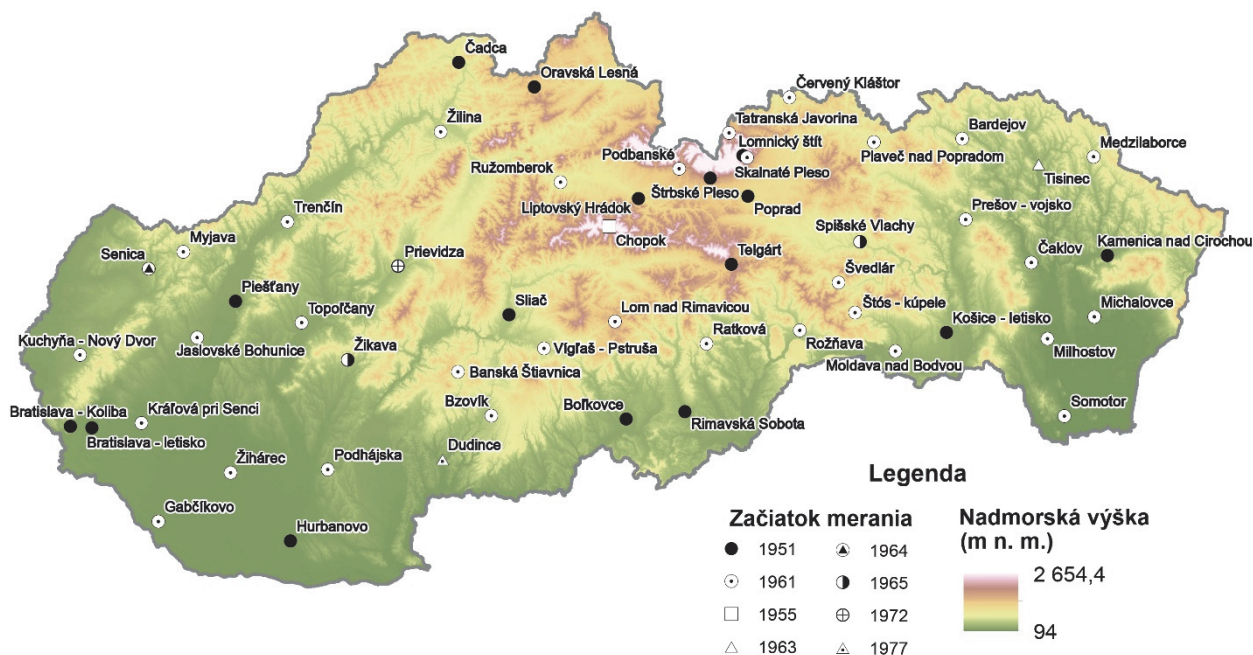
VÝSLEDKY, DISKUSIA A ZÁVERY

Pozorované zmeny priemernej teploty vzduchu

Podľa zobrazenia trendovej analýzy na Obr. 2 môžeme skonštatovať, že Tpr sa počas sledovaných dekád zvyšovala na všetkých meteorologických staniách. Počas sledovaných dekád bola Tpr najvyššia prevažne v stanici Hurbanovo, kde bolo počas dekád obdobia 1951–2010 zaznamenané zvýšenie z 9,9 °C na 11,2 °C. V poslednej dekáde (2011–2020) najvyššiu teplotu vzduchu dosiahla stanica Žihárec, ktorá mala v prvej dekáde (1961–1970)

Obrázok 1. Priestorová distribúcia vybraných meteorologických staníc na Slovensku.

Figure 1. Spatial distribution of selected meteorological stations in Slovakia.



Tpr 9,6 °C a počas poslednej sledovanej dekády sa jej teplota vzduchu zvýšila na 12,1 °C. Najnižšie Tpr mala stanica Lomnický štít, kde teplota vzduchu narastla z –3,8 na –2,2 °C.

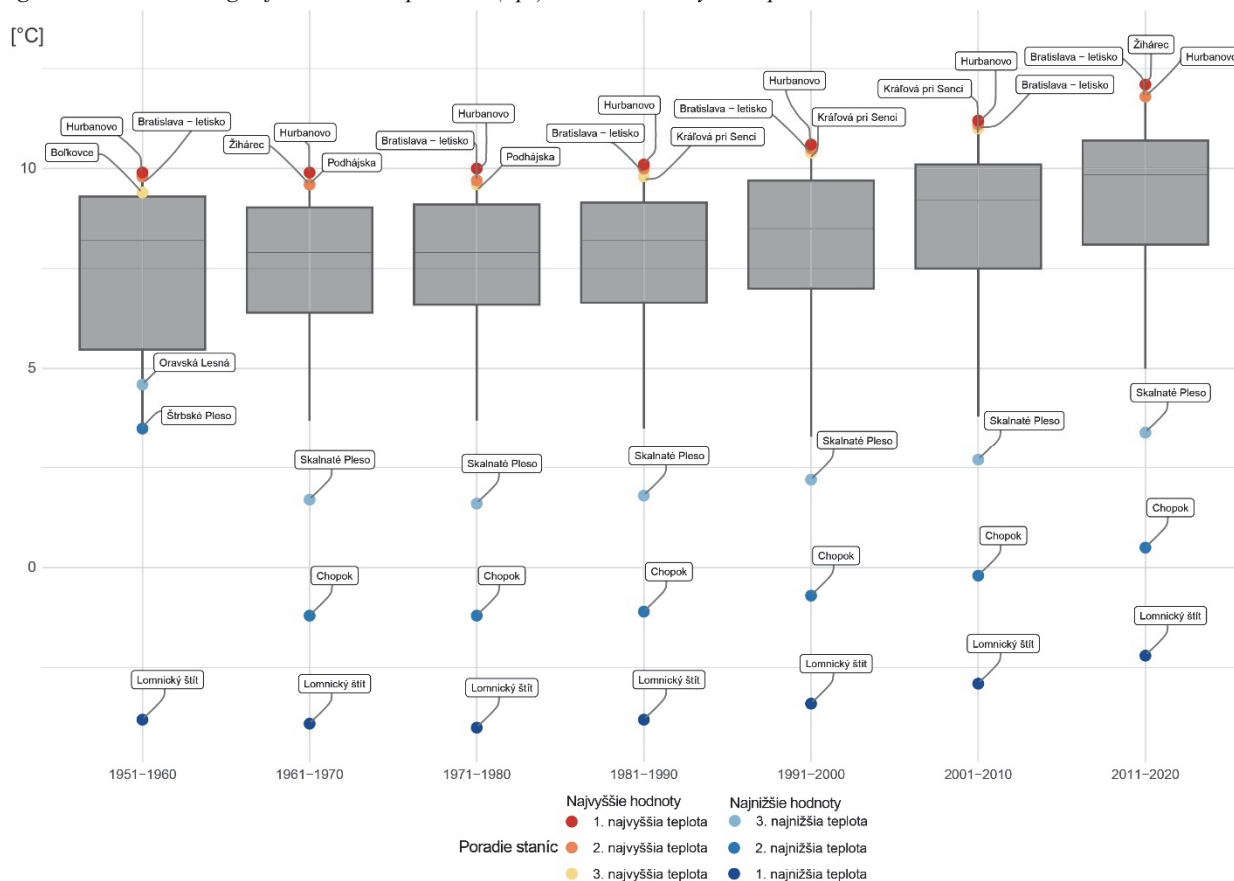
Z trendovej analýzy vyplýva, že trend na všetkých meteorologických staniach je rastúci. Najväčší nárast podľa Obr. 3 sme zaznamenali na stanici Žihárec, kde Tpr vzrástla o 2,6 °C za obdobie 1961–2020. Ďalšie najväčšie

nárasty mali aj stanice Prešov - vojsko a Lom nad Rimavicou. Najmenší nárast zaznamenala stanica Červený Kláštor, na ktorej sa teplota vzduchu zvýšila o 1 °C za obdobie 1967–2020.

Tendenciu nárastu Tpr uvádzajú aj Pecho a Turňa (2018), pričom na všetkých ním sledovaných staniach zaznamenali nárast teploty vzduchu za obdobie rokov 1951–2020 o viac ako 1 °C.

Obrázok 2. Štatistické rozpätie hodnôt priemernej teploty vzduchu (Tpr) znázornené boxplotom.

Figure 2. Statistical range of mean air temperature (Tpr) values shown by a boxplot.



Obrázok 3. Hodnota sledovaného nárastu priemernej teploty vzduchu (Tpr) pre jednotlivé meteorologické stanice.

Figure 3. Observed increase in mean air temperature (Tpr) for individual meteorological stations.

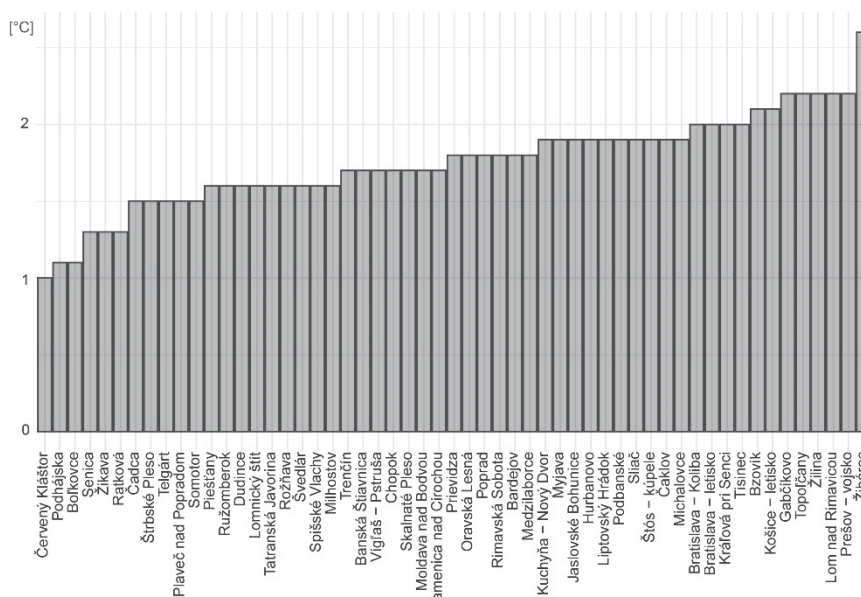


Figure 4. Statistical range of maximum air temperature (T_{max}) values shown by a boxplot.

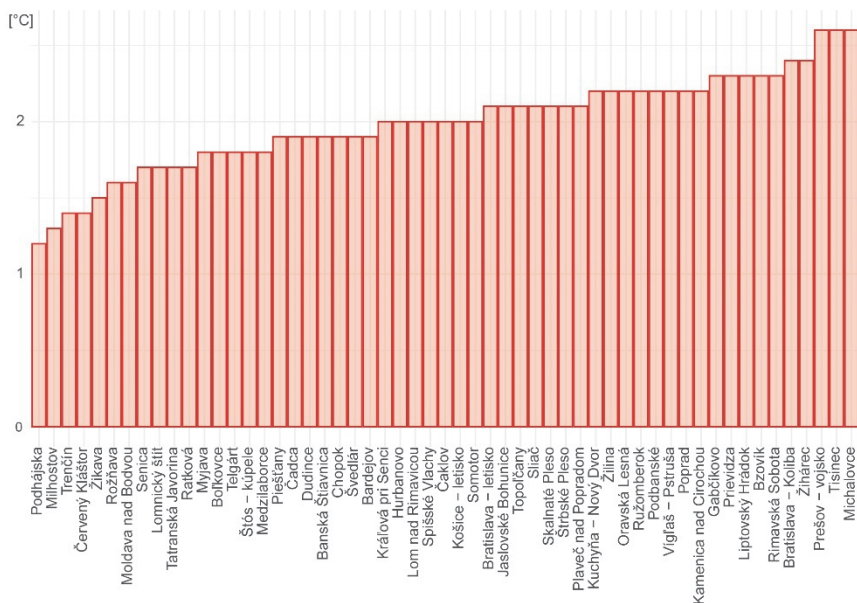


Figure 5.
The value of the observed increase
in maximum air temperature
(Tmax) for individual
meteorological stations.

Stúpajúci trend sa potvrdil aj v prípade T_{max} (Obr. 4). Najvyššie úrovne T_{max} mala stanica Hurbanovo, pričom počas sledovaných dekád dosiahla rast z $15,3^{\circ}\text{C}$ na $17,3^{\circ}\text{C}$. Iba v dvoch dekádach (1981–1990 a 1991–2000) sa jej dokázala vyrovnat' stanica Žihárec. Najnižšie hodnoty zaznamenala opäť stanica Lomnický štít, ktorá mala v začiatočnej

Na Obr. 5 sú znázornené hodnoty nárastu Tmax za celé obdobie. Najvyšší nárast Tmax na úrovni 2,6 °C dosiahli stanice Michalovce, Tisnec a Prešov - vojsko. Na rozdiel od staníc Michalovce a Prešov - vojsko, rast v Tisinci bol o to pozoruhodnejší, pretože časový rad pri tejto stanici začína

rokom 1963 (údaje na Prešov - vojsko a Michalovce začínajú rokom 1961). Najmenší nárast bol zistený na údajoch zo stanice Podhájska, kde sa za obdobie 1961–2020 Tmax zvýšila o 1,2 °C.

S analýzou Tmax sa spájajú aj dni s charakteristickou teplotou vzduchu, ktorá sa udáva na základe nameranej dennej Tmax. V článku sme si zvolili letný deň, tropický deň a ľadový deň. Početnosť letných a tropických dní má stúpajúci trend, v prípade ľadových dní, naopak, klesá. Najviac letných dní pribudlo na stanici Gabčíkovo, kde ich počet za sledované obdobie 1961–2020 vzrástol o 41,7 dní. Na Skalnatom Plese sa letný deň začal vyskytovať od dekády 1980–1991 a do konca 2020 mala stanica najnižší nárast počtu letných dní (0,1 dňa). Na stanicích Chopok a Lomnický štít sa počet nezmenil a letné dni sa tu nevyskytujú. Podľa Obr. 6 môžeme skonštatovať, že najväčšia početnosť výskytu staníc sa nachádza v intervale nárastu 25–30 dní, tento rast zaznamenalo spolu 17 staníc.

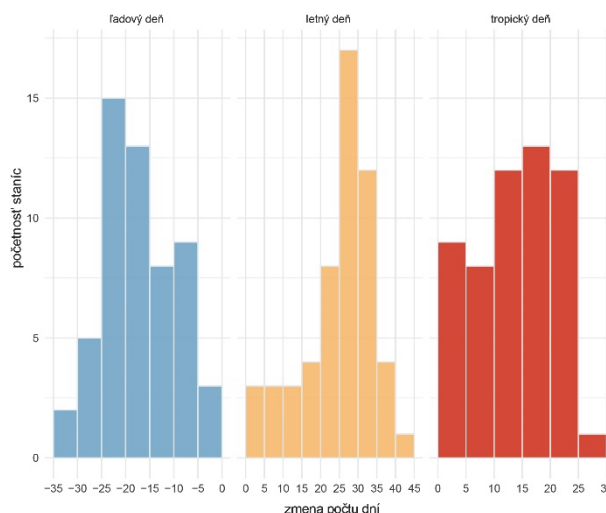
Početnosť tropických dní má rovnako tendenciu stúpať. Najvyšší nárast od roku 1951 mala stanica Rimavská Sobota, na ktorej pribudlo 27,8 tropických dní. Ďalej, ich počet najvýraznejšie stúpol na stanicích Žihárec a Podhájska. Najmenší prírastok majú stanice Tatranská Javorina a Lom nad Rimavicou, pričom tropický deň sa vôbec nevyskytuje na vysokohorských stanicích Chopok, Lomnický štít, Skalnaté Pleso a Štrbské Pleso. Z grafickej vizualizácie (Obr. 6) je zrejmé, že nárasty tropických dní sú vyrovnanšie ako nárasty letných dní. Najvyšší počet staníc (13) má zvýšenie počtu tropických dní v intervale 15–20 dní, pričom nasledujúce intervaly 10–15 a 20–25 majú o jednu stanicu menej.

Ľadové dni sa v kontexte rastúcej globálnej teploty vzduchu vyskytujú menej často, a preto trend nadobúda pokles aj na slovenských stanicích. Najväčší pokles ľadových dní má stanica Plaveč nad Popradom, kde sa ich početnosť od roku 1961 znížila o 33,9 dní. Ďalej nasledujú stanice vo vyšších nadmorských výškach, na ktorých sa počet ľadových dní znížil o 30,2 (Skalnaté Pleso) a 28,5 dní (Lomnický štít). Najmenší pokles mali Boľkovce, kde od roku 1951 ubudlo len 1,5 dňa. Podľa histogramu (Obr. 6), najväčší pokles dní bol v intervale od –25 do –20 (15 staníc), nasleduje interval od –20 do –15 (13 staníc).

Charakterom podmienok Tmax sa zaoberali aj Petrovič a Šoltís (1986). V článku uvádzajú priemerný výskyt letných, tropických a ľadových dní za obdobie 1931–1980. Ich výsledky uvádzajú na stanicích nižšie hodnoty pre letný a tropický deň, a naopak, vyššie pri ľadovom dni, ako uvádzame my. Porovnaním ich výsledkov s našimi môžeme konštatovať, že letný a tropický deň nadobúda trend nárastu a ľadový deň trend poklesu v priebehu sledovaných dekád. Pecho et Turňa (2018) deklaruje nárast teplôt aj v prípade trendovej analýzy Tmax. Rovnako zaznamenali nárast počtu letných a tropických dní ako aj Švec a kol. (2016), ktorí taktiež poukazujú v článku na tendenciu zvyšovania počtu tropických dní. Rastúci trend hodnôt Tmax nielen na Slovensku, ale aj v okolitých štátoch strednej Európy potvrdili aj Brazdil et al. (1996) už v 90. rokoch 20. storočia, avšak nárasty neboli tak výrazné, ako ich pozorujeme ku koncu druhej dekády 21. storočia.

Obrázok 6. Histogram pozorovaných zmien v početnosti ľadových, letných a tropických dní na záujmových meteorologických stanicích.

Figure 6. Histogram of observed changes in the abundance of ice, summer and tropical days at the meteorological stations of interest.



Pozorované zmeny minimálnej teploty vzduchu

Najvyššie úrovne desaťročného priemeru Tmin (Obr. 7) mala počas všetkých sledovaných dekád (okrem rokov 1951–1960) stanica Bratislava - Koliba. V uvedenej dekáde dosiahla najvyššie hodnoty Tmin stanica Bratislava - letisko. Úroveň Tmin na stanici Bratislava - Koliba začínala na hodnote 5,4 °C a v dekáde 2011–2020 sa zvýšila na 7,4 °C. Najnižšie hodnoty opäť dosahujú stanice Lomnický štít a Chopok (Obr. 7).

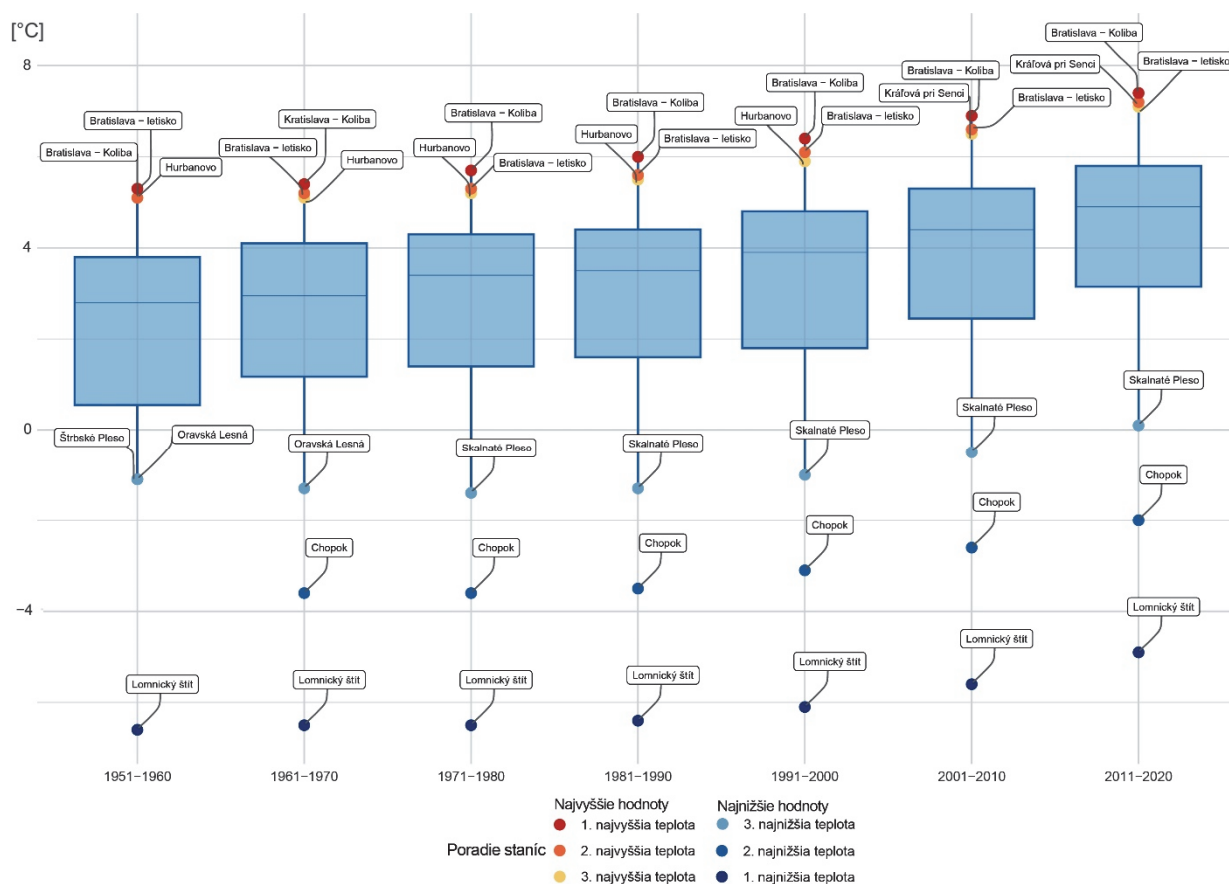
Najvyšší nárast hodnoty Tmin dosiahla stanica Medzilaborce. Stanica je v prevádzke od roku 1961, odkedy jej Tmin stúpala o 2,8 °C. Ďalej nasledujú stanice Lom nad Rimavicou a Oravská Lesná, ktorým sa odchýlka vyrovnala na teplote 2,7 °C. Najmenší nárast zaznamenala stanica Červený Kláštor, v ktorej Tmin stúpala o 0,9 °C.

Počty mrazových dní a dní so silným mrazom sú určené podľa hodnôt Tmin a pri oboch druhoch dní bol zistený trend poklesu. Počet mrazových dní najviac poklesol na stanici Plaveč nad Popradom, kde sa počas dekád 1961–2020 početnosť znížila z 147,9 na 99,1. Najmenší pokles početnosti mrazových dní sme zaznamenali na stanici Tatranská Javorina a Boľkovce. Naopak, nárast početnosti mrazových dní má stanica Červený Kláštor, kde počas dekád od roku 1961 ich priemerný dekádný počet vzrástol o 3,9 dňa. Podľa Obr. 9 sa najvyššia početnosť výskytu poklesu dní na stanicích vyskytuje v intervale od –20 do –15 dní, tento pokles bol zaznamenaný na 16 stanicích.

Podobne bol trend poklesu zaznamenaný aj pri dňoch so silným mrazom. Najväčší pokles mala stanica Lom nad Rimavicou (38,9 dní), pričom priemerný počet počas dekád 2011–2020 bol 13,9 dňa. Najmenšie poklesy sme zaznamenali na stanicích Bratislava - Koliba, Žikava a Senica. Najvyššia početnosť výskytu staníc bola v intervale poklesu od –15 do –10 dní so silným mrazom (20 staníc) (Obr. 9).

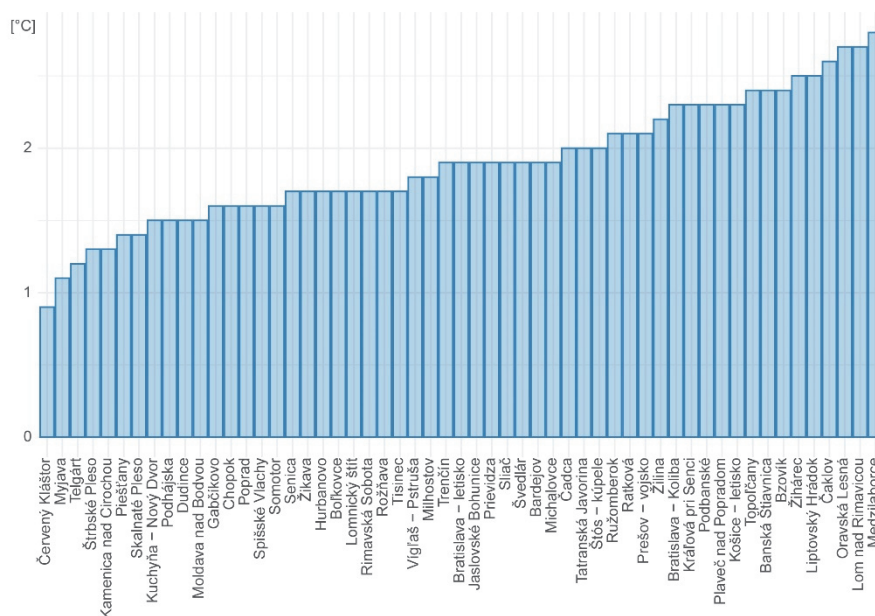
Obrázok 7. Štatistické rozpätie hodnôt minimálnej teploty vzduchu (T_{min}) znázornené boxplotom.

Figure 7. Statistical range of minimum air temperature (T_{min}) values shown by boxplot.



Obrázok 8. Hodnota sledovaného nárastu minimálnej teploty vzduchu (T_{min}) pre jednotlivé meteorologické stanice.

Figure 8. The value of the observed increase in minimum air temperature (T_{min}) for individual meteorological stations.

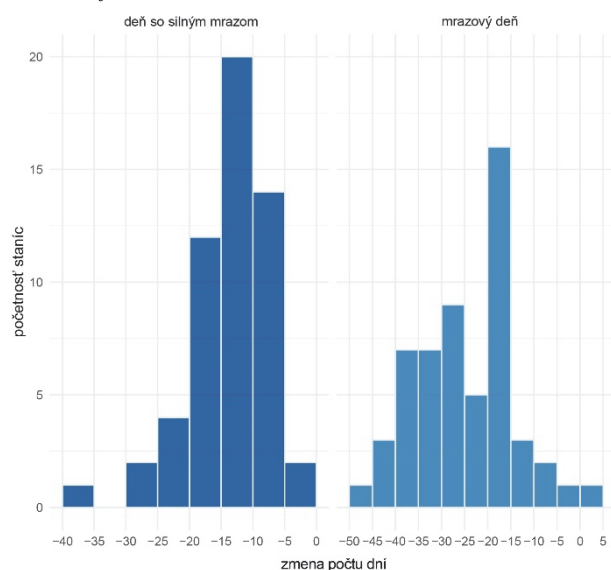


Petrovič a Šoltís (1986) uvádzajú v článku priemerný výskyt mrazových dní a dní so silným mrazom (1931 – 1980). Ich štúdia uvádza vyšší počet mrazových dní a dní so silným mrazom za obdobie 1931 – 1980. Priemerné hodnoty v rám-

ci našich výsledkov (1951 – 2020) preukazujú početnosť dní nižšiu ako uvedená štúdia. To nám potvrdzuje trend poklesu uvádzaný v našom článku.

Obrázok 9. Histogram pozorovaných zmien v početnosti mrazových dní a dní so silným mrazom na záujmových meteorologických staniciach.

Figure 9. Histogram of observed changes in the frequency of frost days and days with strong frost at the meteorological stations of interest.



LITERATÚRA

- Babin, E.–Pecho, J.–Onderka, M.–Faško, P.–Výberči, D., 2021, *Tropické noci podľa nočnej minimálnej teploty vzduchu v Hurbanove (1945–2021)*. *Meteorologický časopis*. ISSN 1335-339X, Vol. 24, No. 2, 97–103.
- Brazdil, R.–Budíková, M.–Auer, I.–Böhm, R.–Faško, P.–Lapin, M.–Cegnar, T.–Gajič–Čapka, M.–Zaninović, K.–Koleva, E.–Niedzwiedz, T.–Ustrnul, Z.–Szalai, S.–Weber, R.O., 1996, *Trends Of Maximum And Minimum Daily Temperatures In Central And Southeastern Europe*. *International Journal of Climatology*. ISSN 0899-8418, Vol. 16, No. 7, 765–782.
- Brown, S.J.–Caesar, J.–Ferro, C.A.T., 2008, *Global Changes in Extreme Daily Temperature Since 1950*. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 113, D05115, doi: 10.1029/2006JD008091.
- Jacoby, W.G., 2000, *Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables*. *Electoral Studies*. ISSN 1873-6890, Vol. 19, No. 4, 577–613.
- Labudová, L.–Faško, P.–Ivaňáková, G., 2015, *Change in Climate and Changing Climate Regions in Slovakia*. *Moravian Geographical Reports*. ISSN 2199-6202, Vol. 23, No. 3, 71–82.
- Onderka, M.–Pecho, J. 2023. *On how precipitation-temperature coupling affects drought severity in the western Carpathians and the adjacent northern part of the Pannonian Plain*. In: *Theoretical and Applied Climatology*. ISSN 1434-4483, Vol. 152, No. 1–2, 681–692.
- Pecho, J.–Turňa, M., 2018, *Zmena režimu teploty vzduchu a jej extrémov na vybraných meteorologických staniciach na Slovensku*. *Zborník abstraktov odbornej konferencie s medzinárodnou účasťou Letiskové vozovky 2018* (21.–22. 5. 2018). ISBN 978-80-89565-34-4, 8.
- Petrovič, I.–Šoltis, J., 1986, *Počet charakteristických dní na Slovensku určený extrémnymi teplomermi za obdobie 1931–1980*. *Meteorologické zprávy*. ISSN 0026-1173 Vol. 39, 36–41.
- Švec, M.–Faško, P.–Labudová, L.–Výberči, D.–Trizna, M., 2016, *Dlhodobé zmeny vybraných charakteristík nadmerného tepelného stresu v lete na Slovensku*. *Geographia Cassoviensis*. ISSN 2454-0005, Vol. 10, No. 2, 193–203.
- WMO, 2022, *WMO Global Annual to Decadal Climate Update*. https://hadleyserver.metoffice.gov.uk/wmolc/WMO_GADCU_2022-2026.pdf (posledný prístup 30.3.2023).
- Yan, Z.–Jones, D.P.–Davies, T.D.–Moberg, A.–Bergström, H.–Camuffo, D.–Cocheo, C.–Maugeri, M.–Demarée, G.R.–Verhoeve, T.–Barriendos, M.–Rodríguez, R.–Martín-Vide, J.–Yang, C., 2002, *Trends of Extreme Temperatures in Europe and China Based on Daily Observations. Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. ISBN 978-94-010-3908-6. Vol. 53, No. 1, 355–392.

CHANGES IN THE HIGH-ALTITUDE CLIMATE OF HIGH TATRA MTS. EVALUATED BY CLIMATIC NORMALS FROM THE SKALNATÉ PLESO OBSERVATORY

VERONIKA LUKASOVÁ^{1*}, SVETLANA VARŠOVÁ¹, ANNA BUCHHOLCEROVÁ¹,
MILAN ONDERKA^{1,2}, DUŠAN BILČÍK¹

¹ Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovakia SK-84005

² Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, Bratislava, Slovakia SK-83315

* Corresponding author's email: geofluka@savba.sk

The Skalnaté Pleso Observatory (1778 m a.s.l.) is situated at the alpine treeline ecotone of the High Tatra Mts. (Western Carpathians). In this study, the climatological normals (CLINOs) 1961–1990 and 1991–2020 calculated from conventional measurements at this observatory were analysed. We used CLINO 1961–1990 as a reference for determining temporal changes in the normal period 1991–2020. The changes in principal climatological surface parameters were used to indicate the extent of the climate change-induced alteration between normal periods. The results of this study indicate an increase in the annual normals of all parameters in the CLINO 1991–2020. The annual precipitation rose by 195.6 mm and the total annual number of days with precipitation above 1 mm increased by 6 days. The steepest increase was detected in the annual maximum air temperature (1.2 °C), the mean air temperature increased by 1.1 °C, and the minimum air temperature increased by 0.8 °C. The mean vapour pressure increased by 0.6 hPa. The annual geopotential height increased by 7.1 m and the total number of hours of sunshine rose by 52 hours..

Observatórium Skalnaté Pleso (1778 m n. m.) sa nachádza v ekotóne medzi subalpínskym a alpínskym stupňom Vysokých Tatier (Západné Karpaty). Klimatické normály (CLINO) 1961–1990 a 1991–2020, ktoré boli analyzované v tejto práci, boli vypočítané z konvenčných meraní na tomto observatóriu. CLINO 1961–1990 sme použili ako referenčný rámec pre určenie zmien v normálovom období 1991–2020. Odchýlky hlavných klimatologických parametrov (PCSP) medzi normálovými obdobiami identifikovali rozsah zmien spôsobených zmenou klímy. Výsledky prezentované v tejto štúdii udávajú nárast ročných normálov všetkých parametrov v CLINO 1991–2020. Ročný úhrn zrážok sa zvýšil o 195,6 mm a taktiež pribudlo 6 dní v roku so zrážkami nad 1 mm. Najvyšší nárast bol zaznamenaný v prípade ročnej maximálnej teploty vzduchu (o 1,2 °C), priemerná teplota sa zvýšila o 1,1 °C, a v prípade minimálnej teploty sme zaznamenali nárast o 0,8 °C. Priemerný tlak vodnej pary stúpol o 0,6 hPa. Priemerná ročná geopotenciálna výška sa narástla o 7,1 m a celkový počet hodín slnečného svitu sa zvýšil o 52 hodín.

Key words: climatological normal, precipitation, air temperature, vapour pressure, geopotential height, sunshine duration

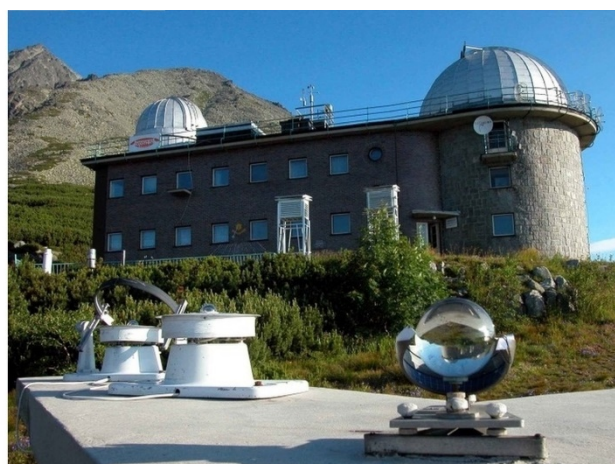
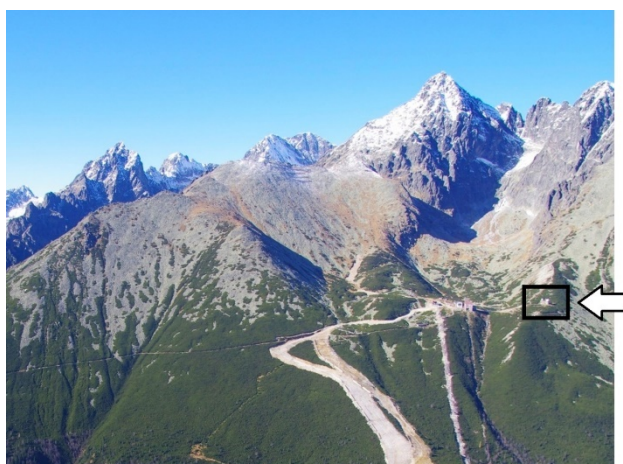
INTRODUCTION

Throughout the world, mountain regions experience more rapid changes in air temperature than environments located at lower elevations. Rising air temperature and changes in precipitation patterns are likely to accelerate the rate of change in various systems with significant consequences for humans and ecosystems (Beniston, 2003; Pepin et al., 2015; Středová et al., 2020). Continuous warming at high altitudes can significantly modify the hydrologic cycles in mountainous regions (Nijssen et al., 2001; Vido et al., 2015) and cause a reduction in winter and spring snowpack leading to changes in the temporal pattern of streamflow (Arnell, 2003). Shifts in the precipitation regime may potentially jeopardize the resources of freshwater (Beniston et al., 1997). Evapotranspiration brought by rising air temperature induces severe droughts in the vegetation period (Overpeck and Udall, 2010) leading to increases in the frequency and intensity of wildfires (Korená Hillayová et al., 2023).

The information on the climatic conditions of certain mountain regions originates primarily from the data measured at mountain observatories. The first systematic meteorological observations in the High Tatra Mts. began during the Austro-Hungarian monarchy when a basic network of

meteorological stations was established. In the 19th century, the foundation of new tourist lodges and climate-therapeutic resorts required the building of the meteorological stations in Tatranská Lomnica (in 1897), Štrbské Pleso (in 1902) and Starý Smokovec (in 1905) (Bičárová et al., 2013). The construction of the cable car from Tatranská Lomnica through Skalnaté Pleso to Lomnický štít (Lomnický peak) in 1939 enabled the build-up of a mountain meteorological station near the tarn Skalnaté Pleso at 1769 m a.s.l. (Smolen, 1990). In 1943, Dr Antonín Bečvář (1901–1965), a climatologist working for the climatic resort at Štrbské Pleso, initiated the construction of a new observatory at an altitude of 1778 m a.s.l., where the staff worked under the guidance of the Military Air Force Weather Station (Bičárová et al., 2013). Since then, a unique, almost 80-year-long database of manually measured meteorological data at the Skalnaté Pleso Observatory (SPO) has been recorded. At present, SPO serves as the experimental workplace of the Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences. The data from this observatory cover two climatological standard normals (CLINOs) 1961–1990 and 1991–2020 and represent the climate of the border between the subalpine and alpine zone of the High Tatra Mts.

Figure 1. Photography of the south-facing slopes of the High Tatra Mts. The position of the Skalnaté Pleso Observatory is marked in black rectangle.



The data from SPO provides significant information about how the high-altitude climate evolved in the Western Carpathians between the two recent normals. Using this dataset, we investigated climate change in the High Tatra Mts (Western Carpathians) by comparing the CLINOs 1961 – 1990 and 1991 – 2020. We analysed changes in principal climatological surface parameters (PCSP) defined by the World Meteorological Organization (WMO, 2017).

DATA AND METHODS

Meteorological observations at Skalnaté Pleso Observatory

The Skalnaté Pleso Observatory (SPO, Fig. 1) is located at an altitude of 1778 m in the Skalnatá dolina (Skalnatá Valley) on the southern slopes of the High Tatra Mts., Slovakia (49.18928°N; 20.23410°E) on the border between subalpine and alpine zone (Škvarenina et al., 2004). The vegetation of this alpine treeline ecotone (Bader et al., 2020) is primarily composed of shrub species dominated by *Pinus mugo* Turra. The topography of the area has a high-relief character with tarns (small mountain lakes without a tributary), gables, rock walls and towers. According to Konček's climate classification (Konček, 1974), the altitude of SPO (1778 m a.s.l.) belongs to the cold and wet climate zone with the July isotherm below 16 °C. The primary mission of this observatory is to carry out long-term monitoring of high-altitude climate (<http://www.geo.sav.sk/en/structure-of-the-institute/laboratories/meteorological-observatory-skalnate-pleso/>). The observations made at this observatory are used for interdisciplinary research related to the alpine tree line ecotone.

Climatic parameters and their measurements

This study is focused on principal climatological surface parameters (PCSP), which were defined by the WMO (2017) and WMO (1989). The individual monthly values were calculated as:

- Mean parameter, which is the mean of the daily values during the month: mean air temperature (T_{mean}), mean

maximum temperature (T_{max}), mean minimum temperature (T_{min}), mean geopotential height (GPH) and mean vapour pressure (VP).

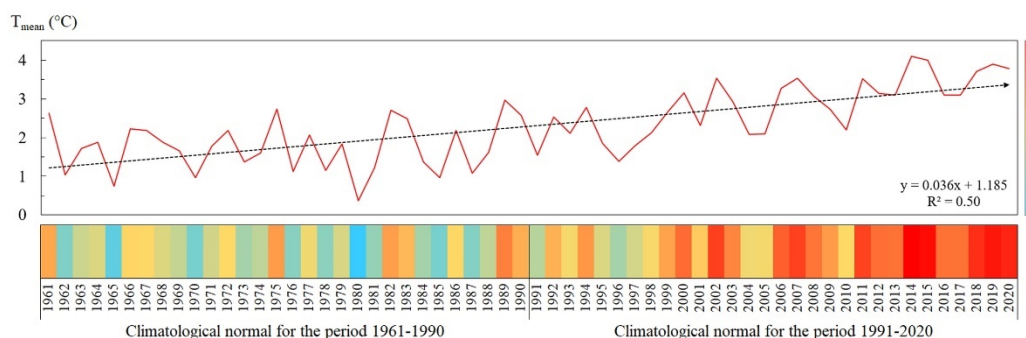
- Sum parameters, which are the sum of the daily values during the month: precipitation total (P), and the total number of hours of sunshine (SD).
- Count parameter: number of days with precipitation above 1 mm (Pd).

At SPO, the observations of these parameters are carried out by qualified observers using conventional manual methods and measurement equipment. According to the applicable standards in Slovakia, meteorological measurements are performed three times a day: at 0700, 1400 and 2100 LMT (Local Mean Time). Based on the geographical position of SPO, the LMT is shifted by 21 minutes against CET (Central European Time), i.e. 0700 LMT corresponds to 6:39 CET.

Calibrated mercury-in-glass thermometers with manual read-out are used as standard instruments to measure the actual air temperature (dry-bulb thermometer) and diurnal maximum temperature (maximum thermometer). The minimum temperature is measured by a spirit thermometer (minimum thermometer) twice daily. The thermometers are placed in a fixed position inside a standardized wooden meteorological shelter (Stevenson screen) at a height of 2 meters above the ground. In addition, the August psychrometer is installed in the interior of the meteorological shelter. This device consists of a dry-bulb and wet-bulb thermometer. The bulb of the wet-bulb thermometer is wrapped in cloth that is kept wet with distilled water via wicking action. The direct visual read-outs of temperature provided by the dry-bulb and wet-bulb thermometers are used to determine relative humidity and vapour pressure by employing psychrometric tables.

A conventional rain gauge (METRA) is installed at the observatory to measure the amount of precipitation (liquid water) and dissolved solid precipitation (snow, hail, or settled precipitation). Precipitation is accumulated in a metal container. The volume of water is measured three times a day (0700, 1400 and 2100 LMT) using a graduated cylinder. The capture area of the gauge is 500 cm².

Figure 2.
Increase in
mean annual air
temperature from
1961 to 2020.



The mean sea level pressure is measured by a mercury barometer where the atmospheric pressure balances the column of mercury. Measurements by the mercury barometer are corrected to compensate for the effects of ambient temperature and the local gravity anomaly, which is $9.80576513 \text{ ms}^{-2}$ at SPO. Since SPO is located at a high altitude, according to the recommendation of the WMO (2017), the mean sea level pressure was substituted by the mean geopotential high at 850 hPa. The method described in Technical note No. 61, WMO (1964) and WMO (2021) were applied to calculate the geopotential height.

A Campbell-Stokes sunshine recorder is installed at SPO to measure the total number of hours of sunshine. The principle of operation of this device is based on concentrating sunlight through a glass sphere onto a recording paper strip placed in the focal point. The length of the sunburned trace along the paper strip represents the duration of sunshine in hours per day.

Following the guidelines of the WMO (2017), all climatological elements observed at the SPO are subject to quality control and homogenized before the calculation of CLINO using the template available at <https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/normals/WMO>.

The climate-change-induced alterations in the PCSPs were assessed by calculating differences between the CLINO 1991–2020 and the reference normal CLINO 1961–1990.

RESULTS AND DISCUSSION

Temperature and vapour pressure normals of 1961–1990 and 1991–2020

The warming at the Skalnaté Pleso Observatory is unprecedented, which is shown in Fig 2. Concretely, the increase in the maximum temperature ($T_{\max}$) between the CLINOs has been observed in all months of the year (Fig. 3). The average annual $T_{\max}$ increased from 5.3°C to 6.5°C (Tab. 1). The highest increases in $T_{\max}$ were above 2°C observed in July and August. The lowest increases were observed in the months of September and October with $T_{\max}$ of 0.4 and 0.2°C , respectively. Considering minimum temperature ($T_{\min}$), the temperature shifts were lower compared to $T_{\max}$. The highest increases in July and August were 1.6°C for both. During the last CLINO, $T_{\min}$ remained unchanged in October. In September and March, it increased only by 0.2 and 0.3°C , respectively. Analysing the mean monthly

temperature (T_{mean}), the increase in T_{mean} has been observed throughout the whole year similarly to previous temperature parameters. Changes in T_{mean} below 1°C were detected only in February and March, and in September and October (Fig. 3). Generally, all three temperature parameters point to a profound increase in air temperature within the warm half of the year (IV–IX, Fig. 3). In the period of June–August $T_{\max}$ increased by 2.0°C , $T_{\min}$ by 1.4°C and T_{mean} by 1.7°C . In these three summer months, the mean increase in vapour pressure (VP) was high as well (1.1 to 1.3 hPa). The positive differences in VP were observed throughout the whole year in CLINO 1991–2020 (Fig. 3). The most important meteorological variables affecting the VP are air temperature and relative humidity (Shi et al., 2019), therefore the rising air temperature at SPO was accompanied by increasing water vapour pressure (Fig. 3). The increasing temperature and atmospheric moisture content may cause the atmospheric lapse rate profiles to become shallower (Collins et al., 2013). When air temperature decreases less sharply with increasing altitude, warming in high mountains is more pronounced (Pepin and Lundquist, 2008).

Figure 3. Differences in principal climatological surface parameters between the CLIMO 1991–2020 and the reference period 1961–1990.: daily maximum ($T_{\max}$), minimum ($T_{\min}$) and mean air temperature (T_{mean}), and vapour pressure (VP).

	$T_{\max}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{\min}$ ($^\circ\text{C}$)	T_{mean} ($^\circ\text{C}$)	VP (hPa)
I	1.2	1.0	1.2	0.4
II	0.9	0.5	0.8	0.2
III	0.6	0.3	0.4	0.2
IV	1.6	0.8	1.2	0.5
V	1.4	0.7	1.1	0.5
VI	1.9	1.2	1.5	1.1
VII	2.0	1.6	1.7	1.3
VIII	2.1	1.6	1.8	1.2
IX	0.4	0.2	0.4	0.4
X	0.2	0.0	0.1	0.4
XI	1.4	1.3	1.4	0.4
XII	1.0	1.0	1.0	0.1
III-V	1.2	0.6	0.9	0.4
VI-VIII	2.0	1.4	1.7	1.2
IX-XI	0.7	0.5	0.6	0.4
XII-II	1.0	0.8	1.0	0.2
X-III	0.9	0.7	0.8	0.3
IV-IX	1.6	1.0	1.3	0.8
Annual	1.2	0.8	1.1	0.6

Table 1. Climatological standard normals (CLINOs) 1961 – 1990 and 1991 – 2020 of temperature parameters in °C and vapour pressure in hPa calculated for Skalnaté Pleso Observatory.

Normal Month	1961 – 1990				1991 – 2020			
	T_{max}	T_{min}	T_{mean}	VP	T_{max}	T_{min}	T_{mean}	VP
I	-2.0	-9.1	-5.8	2.8	-0.8	-8.1	-4.5	3.1
II	-2.0	-8.9	-5.8	2.9	-1.1	-8.4	-5	3.1
III	-0.2	-6.9	-3.9	3.5	0.4	-6.6	-3.3	3.6
IV	3.5	-2.9	0	4.6	5.1	-2.1	1.2	5.0
V	8.4	1.9	4.8	6.8	9.8	2.6	5.9	7.2
VI	11.2	4.8	7.8	8.5	13.1	6.0	9.3	9.5
VII	12.8	6.3	9.4	9.4	14.8	7.9	11.1	10.6
VIII	12.8	6.5	9.4	9.4	14.9	8.1	11.2	10.6
IX	10.1	3.8	6.6	7.7	10.5	4.0	7	8.1
X	7.2	0.7	3.6	5.6	7.4	0.7	3.7	6.0
XI	2.3	-4.2	-1.3	4.1	3.7	-2.9	0.2	4.5
XII	-0.7	-7.7	-4.4	3.1	0.3	-6.7	-3.2	3.3
III-V	3.9	-2.6	-5.2	3.0	5.1	-2.0	-4.3	3.2
VI-VIII	12.3	5.9	4.2	6.6	14.3	7.3	5.5	7.3
IX-XI	6.5	0.1	8.5	8.8	7.2	0.6	9.8	9.8
XII-II	-1.5	-8.5	-0.7	4.3	-0.5	-7.7	0.2	4.6
X-III	0.8	-6.0	-2.9	3.7	1.7	-5.3	-2.0	3.9
IV-IX	9.8	3.4	6.3	7.7	11.4	4.4	7.6	8.5
Annual	5.3	-1.3	1.7	5.7	6.5	-0.5	2.8	6.2

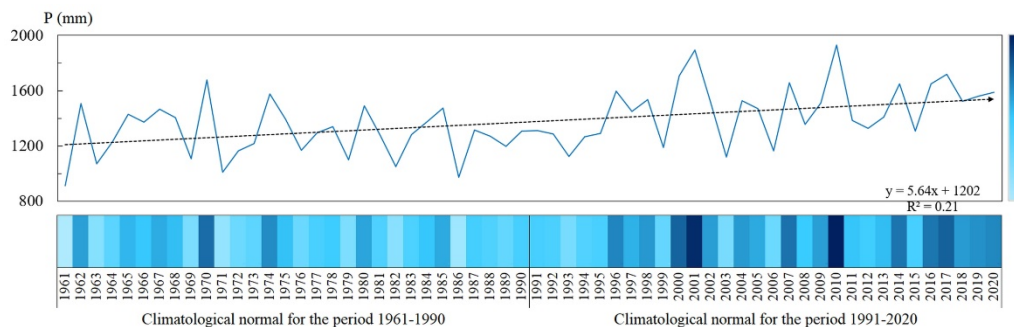
Parameters: T_{max} - daily maximum, T_{min} - minimum and T_{mean} - mean air temperatures, VP - mean vapour pressure

Table 2. Climatological standard normals (CLINOs) 1961 – 1990 and 1991 – 2020 of precipitation parameters calculated for Skalnaté Pleso Observatory.

Normal Month	1961 – 1990		1991 – 2020	
	P	Pd	P	Pd
I	57.5	9.7	81.2	11.8
II	55.7	10.2	74.9	11.3
III	66.6	11.3	82.9	12.1
IV	82.7	12.6	94.3	12.3
V	132.0	14.9	155.1	15.6
VI	188.3	16.4	183.6	15.3
VII	192.2	14.7	237.7	16.7
VIII	163.6	13.6	158.1	12.3
IX	109.7	11.1	127.9	11.2
X	84.3	9.5	117.3	11.5
XI	78.2	11.8	92.2	11.4
XII	70.9	11.7	72.0	12.0
III-V	281.3	38.8	332.3	40.0
VI-VIII	544.1	44.7	579.4	44.3
IX-XI	272.2	32.4	337.4	34.1
XII-II	184.1	31.6	228.1	35.1
X-III	413.1	64.2	520.5	70.1
IV-IX	868.5	83.3	956.7	83.4
Annual	1281.6	147.5	1477.2	153.5

Parameters: P - precipitation total in mm, Pd - number of days with precipitation above 1 mm

Figure 4.
Increase in annual precipitation totals from 1961 to 2022.



Precipitation normals of 1961 – 1990 and 1991 – 2020

Over the two CLINO periods, the trend in the annual precipitation was increasing (Fig. 4). The total annual number of days with precipitation above 1 mm increased by 6 days between CLINOs (Tab. 2). The annual precipitation totals increased by 195.6 mm; however, this precipitation increase was not regularly distributed throughout the year. As shown in Fig. 5, the highest increase in precipitation was observed in July (+45.5 mm). On the contrary, precipitation decreased by -4.7 mm in June and -5.5 mm in August when the number of days with precipitation above 1 mm decreased as well. With 16.7 days of precipitation and a total of 237.7 mm, which is approximately 3-times higher than the normal precipitation in winter months (Dec., Jan., Feb., and Mar., Tab. 2), July was the month with the highest precipitation totals in the climatological normal 1991 – 2020. The increase in precipitation agrees with the general increasing trend (statistically significant) in mid-latitudes of the northern hemisphere (30°N to 60°N) over the period 1901 – 2008 and of the shorter period 1951 – 2008, which is also positive but non-significant (Hartmann et al., 2013). However, in Poland on the north slopes of High Tatra Mts., the precipitation totals significantly decreased particularly in the summer and winter months during 2001 – 2018 (Ziernicka-Wojtaszek and Kopcińska, 2020).

Normals of geopotential height and sunshine duration

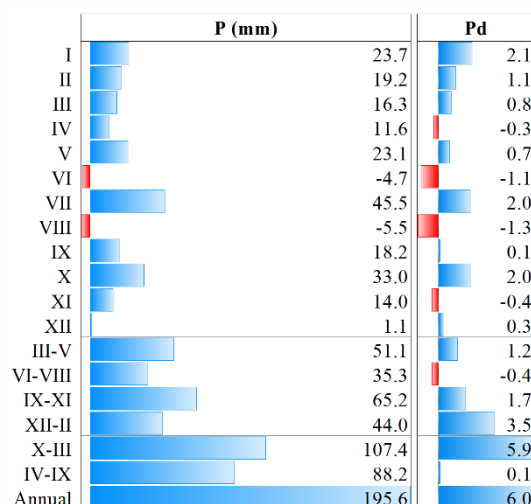
The annual geopotential height (GPH) increased from 1470.8 to 1477.9 m (Tab. 3) between the CLINOs, meaning that the altitude of the horizontal pressure gradient force as the gradient of geopotential along 850 hPa increased by 7.1 m. Looking at the intra-annual changes, and excluding September and October, GPH increased in the period 1991 – 2020 compared to the reference period 1961 – 1990 (Fig. 6). The highest increase was observed in April, November and December. The increase is in accordance with other studies in the mid-latitudes of the northern hemisphere. Generally, after 1960, winter (Dec., Jan., Feb.) and annual means of geopotential height at 850 hPa increased over the mid-latitudes and decreased over high latitudes in the northern hemisphere (Lucarini and Russell, 2002). The geopotential height depends mainly on the prevailing pressure system in the area and the temperature of the air mass since the air pressure vertical gradient is affected by the temperature. At SPO, GPH decreased by -5.3 m and -8.1 m in September and October, respectively. In these months, the mean and extreme temperatures increased only slightly between the normals (Fig. 3), and the total number of hours of sunshine decreased (Fig. 6). The decreases in GPH may point to changes in atmospheric circulation in September and October, but these relationships were not investigated in the present study.

Table 3. Climatological standard normals (CLINOs) 1961–1990 and 1991–2020 of geopotential height (GPH) and sunshine duration (SD) calculated for Skalná Pleso Observatory.

Normal Month	1961–1990		1991–2020	
	GPH (m)	SD (h)	GPH (m)	SD (h)
I	1439.1	92.2	1449.0	93.0
II	1428.3	98.9	1440.3	89.1
III	1437.0	124.8	1444.4	128.0
IV	1444.5	131.0	1457.9	146.5
V	1478.3	142.4	1486.0	160.4
VI	1494.1	128.5	1504.1	142.1
VII	1509.3	135.6	1510.7	148.7
VIII	1512.7	139.7	1521.3	153.5
IX	1512.5	127.0	1507.2	124.6
X	1502.5	136.9	1494.4	119.2
XI	1452.2	85.4	1465.2	87.8
XII	1438.8	81.4	1454.4	82.6
III-V	1453.3	398.2	1462.8	434.9
VI-VIII	1505.4	403.8	1512.0	444.3
IX-XI	1489.0	349.3	1488.9	331.6
XII-II	1435.4	272.5	1447.9	264.7
X-III	1449.7	619.6	8747.8	599.7
IV-IX	1491.9	804.2	8987.1	875.8
Annual	1470.8	1423.8	1477.9	1475.5

Sunshine duration (SD) is a climatological parameter that measures the duration of sunshine for a given location on the Earth. At SPO, the annual total number of hours of sunshine increased from 1423.8 h to 1475.5 h (Tab. 3). SD at SPO is similar to the average annual total of SD of the multi-annual period 1901–2014 on Śnieżka (1603 m a.s.l., Poland), which is 1423.0 h (Urban et al., 2018). At SPO, the most pronounced increase in SD was recorded during the warm part of the year (IV–IX, Fig. 6), when SD increased by 71.6 hours. Adversely, in the cold half of the year, 19.9 hours less SD was recorded in CLINO 1991–2020. The monthly changes in SD (Fig. 6) show an increase of 13 to 18 hours from April to August. On the contrary, SD between CLINOs decreased or only slightly deviated in the period from September to March, with the greatest decline in October (–17.7 h) and February (–9.8 h). Such a decline in September and October agrees with the recent cloud cover analysis over the area of the Carpathian Mountains, which revealed an increasing trend in cloud cover and the global radiation decrease in the regions outside the Carpathian Chain in these months (Cheval et al., 2014).

Figure 5. Differences in principal climatological surface parameters between the CLIMO 1991–2020 and the reference period 1961–1990: precipitation total (P) and the number of days with precipitation above 1 mm (Pd).

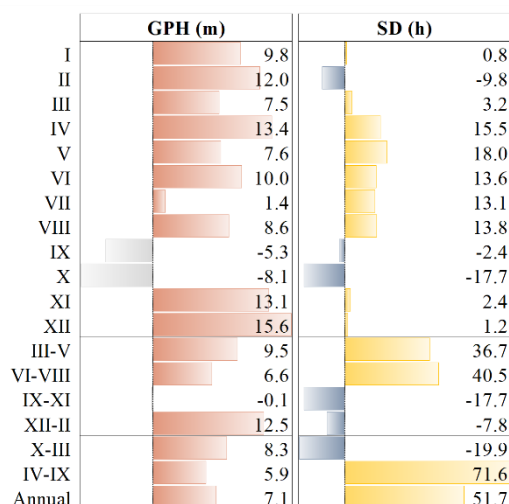


CONCLUSIONS

Mountain meteorological observatories were established in previous centuries to carry out a wide range of services including research in the fields of meteorology, climatology and atmospheric physics. At present, the long-term datasets of meteorological measurements carried out at mountain observatories provide important information on climatic conditions which are used to investigate natural climate variability and anthropogenically induced climate change. However, on a global scale, the number of mountain observatories equipped with conventional (manually operated) instruments is declining due to economic and maintenance issues. This trend is further accelerated by the expansion of automated weather stations. The transition from conventional to automatic instruments brings additional challenges in ensuring the homogeneity of observations. The Skalná Pleso Observatory is one of the few mountain observatories in the Western Carpathians with long-term and homogeneous climate observations. The climatological normals calculated in this paper are based on manual measurements. The analysed data covered two climatological standard normals: 1961–1990 and 1991–2020. We attempted to shed light on how the principal climatological surface parameters between the climatological standard normals changed over time. Based on the presented results it can be concluded that the CLINO 1991–2020 of the principal climatological surface parameters increased compared to the baseline CLINO 1961–1990. The main results can be summarised as follows:

- annual precipitation totals rose by 195.6 mm,
- the total number of days with precipitation above 1 mm increased by 6 days,
- annual maximum air temperature increased by 1.2 °C,
- annual minimum air temperature increased by 0.8 °C,
- mean air temperature increased by 1.1 °C,
- mean vapour pressure increment was 0.6 hPa,
- annual geopotential height increased by 7.1 m,
- the total number of hours of sunshine rose by 52 hours.

Figure 6. Changes in principal climatological surface parameters between climatological normals 1991–2020 and baseline period 1961–1990: geopotential height (GPH) and the total number of hours of sunshine (SD).



Future research on changes in the climate of the Western Carpathian Mountains is needed. It would be interesting to compare the results of this study with other high-altitude locations that are monitored by the national weather service. This would give us a broader picture of the ongoing climate change and its peculiarities observed in the Western Carpathians.

Acknowledgement: This study was supported by VEGA 02/0003/21 and VEGA 02/0093/21.

REFERENCES

- Arnell, N.W., 2003, Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective. *Hydrol Earth Syst Sci* 7: 619–641.
- Bader, M.Y.–Llambí, L.D.–Case, B.S.–et al., 2021, A global framework for linking alpine-treeline ecotone patterns to underlying processes. *Ecography* 44(2), 265–292. <https://doi.org/10.1111/ecog.05285>.
- Beniston, M.–Diaz, H.–Bradley, R., 1997, Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climate Change* 36: 233–251.
- Beniston, M., 2003, Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts. In: Diaz, H.F. (eds) *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future*. Advances in Global Change Research, Springer, Dordrecht, Springer. 5–31. DOI:10.1007/978-94-015-1252-7_2.
- Bičárová, S.–Bezák, V.–Bilčík, D.–et al., 2013, Observatory of SAS at Skalnaté pleso - 70 years of meteorological measurements. Geophysical Institute SAS, Stará Lesná, Slovakia, 63 pp.
- Collins, M.–Knutti, R.–Arblaster, J.–et al., 2013, Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Intergovernmental Panel on Climate Change). Published online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (accessed on 2023-02-12).
- Hartmann, D.L.–Klein Tank, A.M.G.–Rusticucci, M.–et al., 2013, Observations: Atmosphere and Surface, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Intergovernmental Panel on Climate Change). Published online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Chapter02_FINAL.pdf (accessed on 2023-02-12).
- Cheval, S.–Birsan, M.–Dumitrescu, A., 2014, Climate variability in the Carpathian Mountains Region over 1961–2010. *Global and Planetary Change* 118: 85–96. DOI:10.1016/j.gloplacha.2014.04.005.
- Konček, M., 1974, *Klíma Tatier (Climate of Tatras)*. Veda, Bratislava, Slovakia, 856 pp.
- Korená Hillayová, M.–Holécy, J.–Korísteková, K.–Bakšová, M.–Ostrihoň, M.–Škvarenina, J., 2023, Ongoing climatic change increases the risk of wildfires, Case study: Carpathian spruce forests. *Journal of Environmental Management*, 337, 117620. DOI:10.1016/j.jenvman.2023.117620.
- Lucarini, V.–Russell, G.L., 2002, Comparison of mean climate trends in the Northern Hemisphere between National Centers for Environmental Prediction and two atmosphere-ocean model forced runs. *J. Geophys. Res.* 107(D15): 4269, DOI:10.1029/2001JD001247.
- Nijssen B.–O'Donnell, G.M.–Hamlet, A.F.–Lettenmaier, D.P., 2001, Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. *Clim Chang* 50: 143–175.
- Overpeck, J.–Udall, B., 2010, Dry times ahead. *Science* 328: 1642.
- Pepin, N.–Bradley, R.S.–Diaz, H.F.–et al., 2015, Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5): 424–430, DOI:10.1038/nclimate2563.
- Pepin, N.C.–Lundquist, J.D., 2008, Temperature trends at high elevations: Patterns across the globe. *Geophysical Research Letters* 35: L14701, DOI:10.1029/2008GL034026.
- Shi, F.–Zhao, C.–Zhou, X.–et al., 2019, Spatial Variations of Climate-Driven Trends of Water Vapor Pressure and Relative Humidity in Northwest China. *Asia-Pacific J Atmos Sci* 55: 221–231, DOI:10.1007/s13143-018-0062-7.
- Smolen, F., 1990, Päťdesiat rokov činnosti meteorologického observatória na skalnatom Plese (Fifty years of operation of the meteorological observatory at Skalnaté Pleso). In Závodská Ed.: *Vplyv horských masívov na meteorologické procesy (Influence of mountain massifs on meteorological processes)*, Sympóziu k 50. výročiu činnosti meteorologického observatória Skalnaté Pleso, 8. –12.10.1990, Stará Lesná, Slovakia, 252 p. (in Slovak).
- Štředová, H.–Fukalová, P.–Chuchma, F.–Štreda, T., 2020, A complex method for estimation of multiple abiotic hazards in forest ecosystems. *Water*, 12 (10): 2872, DOI:10.3390/w12102872.
- Škvarenina, J.–Křížová, E.–Tomlain, J., 2004, Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekológia (Bratislava)* 23: 13–29 (in Slovak).
- Urban, G.–Migala, K.–Pawliczek, P., 2018, Sunshine duration and its variability in the main ridge of the Karkonosze Mountains in relation to with atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol* 131: 1173–1189. DOI:10.1007/s00704-017-2035-7.
- Vido, J.–Tadesse, T.–Šustek, Z.–Kandrik, R.–Hanzelová, M.–Škvarenina, J.–Škvareninová, J.–Hayes, M., 2015, Drought Occurrence in Central European Mountainous Region (Tatra National Park, Slovakia) within the Period 1961–2010. *Adv Meteorol*, Article ID 248728. DOI:10.1155/2015/248728.
- WMO (World Meteorological Organization), 1964, Technical Note N°61, Note on the standardization of pressure reduction methods in the international network of synoptic stations. Published online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=2849 (accessed on 2022-11-07).
- WMO (World Meteorological Organization), 1989, Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals. Published online: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=11642#ZC05JXZBy3A (accessed on 2022-01-28).
- WMO (World Meteorological Organization), 2017, WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. Published online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166 (accessed on 2022-01-28).
- WMO (World Meteorological Organization), 2021, Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume I – Measurement of Meteorological Variables. Published online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11386 (accessed on 2022-08-20).
- Ziernicka-Wojtaszek, A.–Kopcińska, J., 2020, Variation in Atmospheric Precipitation in Poland in the Years 2001–2018. *Atmosphere*, 11(8): 794. <https://doi.org/10.3390/atmos11080794>.

VPLYV TEPLoty VZDUCHU NA ŠÍRENIE DRVINÁRIKA ČIERNEHO *XYLOSANDRUS GERMANUS* NA SLOVENSKU

JOZEF ROZKOŠNÝ¹, JURAJ GALKO²

¹ Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor klimatologickej služby, Jeséniová 17, 833 15 Bratislava, jozef.rozkosny@shmu.sk

² Národné lesnícke centrum, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, Odbor ochrany lesa - Lesnícka ochrannárska služba, Lesnícka 11, 969 01 Banská Štiavnica, juraj.galko@nlcsk.org

*The invasive ambrosia beetle *Xylosandrus germanus* was detected in Slovakia for the first time in 2010 and gradually has spread throughout the country. In recent years (up to 2019) it had been able to set up one generation per year in Slovak climatic conditions. In 2019, on oak logs samples, we already detected flight activity in the same year as it colonized the logs, which had not been observed in Central Europe before 2019. We assume that warm temperatures during the growing season contributed to the prolonged flight activity of *X. germanus* until the end of November 2019. Part of the fledged population could theoretically establish the new generation that year, what is typical more for southern Europe and North America. The aim of this paper is to present the impact of the above-standard warm temperature in growing season in 2019 and 2020 on the flight activity of *X. germanus*.*

*Invázny drvinárík čierny *Xylosandrus germanus* je na Slovensku zaznamenaný od roku 2010 a postupne sa rozšíril po celom území Slovenska. V predošlom období v našich klimatických podmienkach zakladal jednu generáciu do roka. V roku 2019 sme zaznamenali z vytvorených dubových vzoriek rojenie už v roku obsadenia, čo zatiaľ v stredoeurópskych podmienkach nebolo pozorované pri tomto škodcovi. Predpokladáme, že vplyvom teplého počasia v roku 2019 sa predžilo rojenie až do konca novembra a časť populácie drvináríka v tom istom roku založila 2. generáciu, čo je skôr typické pre južnú Európu a Severnú Ameriku. Cieľom tohto príspevku je prezentovať vplyv nadpriemerne teplého počasia na priebeh rojenia *X. germanus* počas rokov 2019 a 2020.*

Key words: ambrosia beetle, *Xylosandrus germanus*, temperatures, flight activity

ÚVOD

Drvinárík čierny (*Xylosandrus germanus* Blandford) pochádza z východnej Ázie, pričom nepôvodné populácie v Európe a Severnej Amerike sú pôvodom z Japonska (Dzurenko et al., 2021). Patrí medzi ambróziové druhy podkôrnikovitých chrobákov (Coleoptera: Scolytinae). Ambróziové chrobáky sa vyznačujú obligátnou symbiózou s hubami (Hulcr et al., 2015; Dzurenko a Hulcr, 2022). Spájané sú najmä s rodmi *Ambrosiella*, *Fusarium*, *Raffaella*, ktoré ambróziové chrobáky prenášajú v jamkách na svojom tele (Kostovcik et al., 2015; Mayers et al. 2015; Wingfield et al., 2017). Samička počas vyhrýžania materskej chodby zanáša tieto huby po stenách požerku, kde sa následne rozrastajú (Batra, 1985). Samičky kladú vajíčka v požerku, pričom vyliahnuté larvy sa živia práve týmito hubami, ktoré sú jediným zdrojom ich potravy (Biedermann a Taborsky, 2011; Michael et al., 2013). Rojenie začína od marca - až apríla a pokračuje až do konca septembra. Vrchol rojenia nastáva zvyčajne v priebehu mája, v našich podmienkach o niečo neskôr - v júni (Webber a McPherson, 1983; Galko et al., 2014). V USA má dve až tri generácie, v Európe jednu až dve (Webber, 1982). Dospelé imága prezimovávajú v hostiteľskej drevine (Hoffmann, 1941), kde dokážu prežiť aj mimoriadne chladné zimné teploty (Dzurenko et al., 2022). *X. germanus* bol v Európe prvýkrát zaznamenaný v Nemecku v roku 1952, odkiaľ sa šíril do susedných krajín. Na Slovensku bol prvý nález tohto škodcu zaznamenaný v roku 2010 v pohorí Považského Inovca (Galko et al.,

2013; Galko et al., 2019). V prvých 4 rokoch bol zaznamenaný v desiatkach až stovkách kusov. Už v roku 2014 bolo odchýtených už viac ako 1000 kusov imág. Samička je schopná preletieť vzdialenosť približne 2 km (Grégoire et al., 2001), ale na väčšie vzdialenosti sa šíri najmä transportom dreva (LaBonte et al., 2005). Miestami napáda zdravé stromy (Katovich, 2004), ale väčšinou sa správa ako sekundárny škodca a napáda už oslabené či inak stresované stromy, alebo čerstvé sortimenty dreva. Tento škodca je považovaný aj za vektora húb *Ophiostoma* sp., *Fusarium* sp. spôsobujúcich tracheomykózy dubov (Carter, 1973). *X. germanus* je extrémne polyfágnny, čiže ohrozené porasty sú po celom Slovensku. Pozorovaný bol na buku, dube, hrabe, breste, na jedli a ďalších drevinách. Ochranné opatrenia možno vykonávať chemickým ošetrením najkvalitnejších sortimentov (Galko et al., 2015).

Cieľom tohto príspevku je prezentovať priebeh rojenia invázneho druhu *X. germanus* z dubových vzoriek počas rokov 2019 a 2020, ako aj poukázať na pozitívny vplyv nadpriemerne teplého počasia na vývoj populácie tohto škodcu.

METODIKA

Základom sledovania rojenia *X. germanus* bolo založenie dubových vzoriek v máji 2019, ktoré boli následne ponechané v prírodných podmienkach do konca júla 2019. Postačujúca doba na naletenie ambróziovými druhmi je zvyčajne 2 mesiace od založenia vzoriek (Obr. 1).

Obrázok 1. Dubová vzorka.

Figure 1. Oak sample.



Dubové vzorky boli pripravované z kmeňov neperpektívnych jedincov duba ich skrátením pomocou motorovej pily na približne rovnaké rozmery (cca 1 m dĺžka, 15–20 cm priemer kmeňov). Celkovo bolo vytvorených 30 kusov dubových vzoriek. Následne boli dubové vzorky premiestnené do areálu Lesníckej ochranskej služby v Banskej Štiavnici (Národné lesnícke centrum), kde sa vložili do sieťových eklektorov ukončených odberovou fľaštičkou. Eklektory so vzorkami boli následne zvislo zavesené v externom insektáriu (Obr. 2).

Prvý odber imág z eklektorov bol vykonaný na začiatku septembra 2019. Časový rozstup medzi odbermi boli približne 2 týždne. Pri každom odbere bolo dôležité sieťový eklektor vytriasť tak, aby všetky imága, ktoré sa nachádzali aj v rohoch eklektora, spadli do odberovej fľaštičky. Odbery sme pravidelne opakovali okrem zimných mesiacov (december, január, február) až do septembra 2020. Pre rýchle usmrtenie hmyzu a jeho konzerváciu, t.j. na zabránenie rozkladných procesov, bol do odberných nádob po každom odbere naliaty roztok propylénglykolu zriedený vodou v pomere 50:50.

Do odberovej fľaštičky bolo vložené označenie vzorky s dátumom odberu, a takto nachystaná vzorka bola uskladnená v chladničke pre neskoršie spracovanie a determináciu odchyteného hmyzu v laboratóriu. Na začiatku bol obsah fľaštičky vyliaty do Petriho misky. Následne pomocou pinzety bolo každé imágo nachádzajúce sa v miske vybraté a prenesené na vopred pripravený papier. Pri početnejších vzorkách boli imága rovnakého druhu ukladané po 5 kusov pre jednoduchšie následné spočítavanie. Potom bolo potrebné imága nechať istý čas obsochnúť. Zistené početnosti boli zapisované do vopred pripraveného zápisníka a neskôr do elektronickej databázy.

Ako priemerné mesačné teploty vzduchu v rokoch 2019 a 2020 boli použité z meteorologickej stanice v Banskej Štiavnici (SHMÚ).

VÝSLEDKY

Z dubových vzoriek založených v roku 2019 boli už v mesiaci september zaznamenané prvé odchyty imág *X. germanus* (199 kusov), pričom zaujímavé bolo, že vyletovanie imág prebiehalo ešte aj počas mesiaca október (124), resp. počas novembra (35 kusov). V nasledujúcom roku rojenia začalo už v mesiaci marec (104 ks), vrchol rojenia nastal v mesiaci jún (264 kusov imág). V mesiacoch júl a august boli zaznamenané ešte vysoké odchyty (júl - 153; august - 171 kusov). Posledné imága boli odchytené ešte v mesiaci september (31 kusov imág) (Obr. 3).

V roku 2019 bol v lokalite Banskej Štiavnice zaznamenaný prakticky každý mesiac nadpriemerne teplý s výnimkou mesiaca máj, kedy bola zaznamenaná záporná odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu (podobne aj v roku 2020). Najvyššia kladná mesačná odchýlka bola zaznamenaná v mesiaci jún, a to až o 5,2 °C vyššia v porovnaní s dlhodobým priemerom teploty vzduchu (1961–1990) a druhá v mesiaci november (o 3,8 °C vyššia) v porovnaní s dlhodobým priemerom teploty vzduchu 1961–1990 (Obr. 4). Celkovo v lokalite Banskej Štiavnice boli zaznamenané v roku 2019 nadpriemerné teplé letné a jesenné

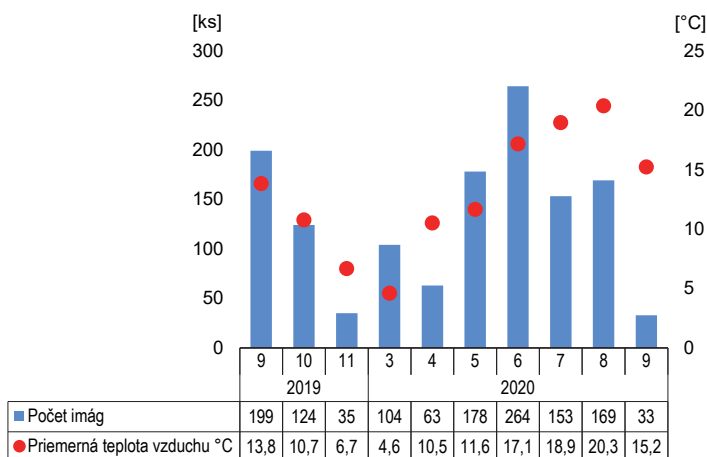
Obrázok 2. Dubové vzorky v sieťových eklektoroch.

Figure 2. Oak samples in mesh eclectors.



Obrázok 3. Početnosť odchytených imág *X. germanus* po mesiacoch v rokoch 2019 až 2020 a priemerné mesačné teploty vzduchu.

Figure 3. Abundancy of *X. germanus* adults imagoes by month from 2019 to 2020 and mean month air temperatures.



mesiace, čo pravdepodobne spôsobilo urýchlený vývoj *X. germanus* a rojenie už počas mesiacov september až november 2019. V roku 2020 boli letné (s výnimkou mesiaca august) a jesenné mesiace s výrazne nižšou kladnou odchýlkou priemernej mesačnej teploty vzduchu v porovnaní s rokom 2019. V roku 2020 boli zaznamenané odchýtky drvinárika ešte v mesiaci september, ale v mesiacoch október a november už išlo o imága druhej generácie.

DISKUSIA

V rámci prezentovaných výsledkov bolo zistené, že rojenie časti populácie *X. germanus* nastalo už v roku obsadenia dubových vzoriek. Pravdepodobne to bolo spôsobené nadpriemerne teplým júnom 2019, kedy kladná odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu bola + 5,2 °C, čo predstavuje rekordne teplý mesiac jún od začiatku meteorologických pozorovaní (1961) v lokalite Banská Štiavnica. Časť vylnenej populácie mohlo teoreticky založiť druhú generáciu počas mesiacov október až november, ktoré boli taktiež rekordne teplotne nadpriemerné. Zakladanie druhej generácie je bežné v južnejších častiach Európy, napríklad v Taliansku (Rassati et al., 2016), resp. pravidlom v USA (Webber, 1982). V septembri v roku 2019 boli zaznamenané porovnateľné počty imág drvinárika ako počas vrcholu rojenia v roku 2020 na prelome mesiacov máj a jún. Reding et al. (2013) uvádzajú priebeh rojenia do konca mája, pričom vrchol rojenia zaznamenal práve v priebehu tohto mesiaca. Taktiež uvádzajú silnú závislosť so zvyšujúcim sa počtom dní s teplotou nad 20 °C a aktivitou *X. germanus*. Galko et al. (2014) zistil na území Slovenska, že v rokoch 2010–2012 skončilo rojenie drvinárika v auguste. Vrchol rojenia zaznamenal v júni a júli. V USA zaznamenávajú vrchol rojenia rôzne v závislosti od regiónu. Vrchol rojenia v štáte Ohio zaznamenávajú v máji, v Tennessee na prelome marca a apríla a v štáte Virginia na prelome apríla a mája (Reding et al., 2010). Podobný prie-

beh ako v ostatných prácach uvádzajú aj Hauptman et al. (2019) v klimatických podmienkach Slovinska, kde začiatok rojenia nastal na konci marca a skončil začiatkom augusta, pričom vrchol rojenia zaznamenal v druhej polovici mája. Graf a Manser (2000) uvádzajú začiatok rojenia vo Švajčiarsku začiatkom mája a vrchol rojenia v mesiacoch jún a júl. O niečo skorší vrchol rojenia zaznamenali v Chorvátsku, a to už koncom apríla (Frankjević et al., 2016).

V druhom roku bola zaznamenaná podobná populačná dynamika ako uvádza Galko et. al. (2014), pričom v porovnaní s rokom 2019 boli zaznamenané výrazne nižšie kladné odchýtky mesačnej teploty vzduchu počas jesenných, ale aj letných mesiacov s výnimkou augusta.

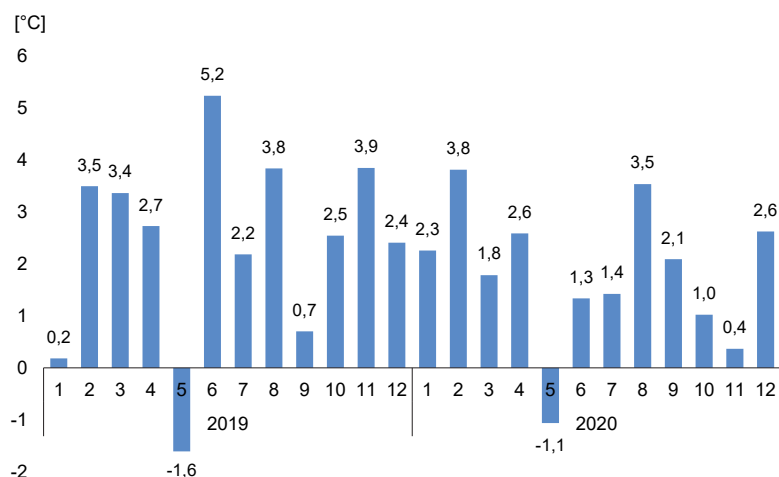
ZÁVER

V rokoch 2019 a 2020 bolo na založených dubových vzorkách evidované rojenie invázneho druhu *X. germanus*. Počas mesiaca jún v roku 2019 bolo rekordne teplé počasie, pričom nadpriemerne teplé počasie trvalo až do novembra 2019. Vplyvom rekordne teplého počasia došlo k druhému rojeniu imág *X. germanus* (september - 199 kusov, október - 124 kusov, november - 35 kusov imág), čo je považované za nové zistenie v podmienkach Slovenska. Je zrejmé, že časť tejto vylnenej populácie mohla založiť 2. generáciu počas jesene 2019, čo v našich klimatických podmienkach zatiaľ nebolo potvrdené. V roku 2020 bol zaznamenaný už „štandardný“ priebeh populačnej dynamiky v rozmedzí od marca do septembra. Vrchol rojenia nastal v mesiaci jún.

Je možné, že vplyvom vhodných klimatických podmienok počas roka sa môže rojenie predĺžiť až do konca jesene, resp. môže drvinárik založiť aj v strednej Európe 2. generáciu, ale túto hypotézu bude potrebné overiť ďalším výskumom. V ďalšom období podobný priebeh rojenia už nebol zaznamenaný, ale v rýchlo sa meniacich podmienkach klímy je zakladanie 2. generácie u tohto škodcu čoraz pravdepodobnejšie podobne ako je tomu v južnej Európe.

Obrázok 4. Odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu °C (2019, 2022) v porovnaní s dlhodobým normálom 1961–1990 v lokalite Banská Štiavnica.

Figure 4. Deviation of mean monthly air temperatures °C (2019, 2022) compared to the long-term normal 1961–1990 in the Banská Štiavnica location.



PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt č. ITMS2014+ 313011W580: Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Túto prácu podporilo aj Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky cez projekt PROMOLES financovaný z rozpočtovej kapitoly – prvok 08V0301.

LITERATÚRA

- Batra, L.R., 1985, Ambrosia beetles and their associated fungi: research trends and techniques. *Proc Plant Sci.*, 94: 137–148.
- Biedermann, P.H.–Müller, J.–Grégoire, J.C.–Gruppe, A.–Hagge, J.–Hammerbacher, A.–Hofstetter, R.W.–Kandasamy, D.–Kolarik, M.–Kostovcik, M.–Krokene, P.–Sallé, A.–Six D.L.–Turrini, T.–Vanderpool, D.–Wingfield, M.J.–Bäslér, C., 2019, Bark beetle population dynamics in the Anthropocene: challenges and solutions. *Trends Ecol Evol.*, 34, 914–924.
- Dzurenko, M.–Galko, J.–Kulfan, J.–Válka, J.–Holec, J.–Saniga, M.–Zach, P., 2022, Can the invasive ambrosia beetle withstand an unusually cold winter in the West Carpathian forest in Central Europe?. *Folia Oecologica*, 49, 1–8.
- Dzurenko, M.–Hulcr, J., 2022, Ambrosia beetles. *Current Biology*, 32, 61–62.
- Dzurenko, M.–Ranger, C.M.–Hulcr, J.–Galko, J.–Kaňuch, P., 2021, Origin of non-native *Xylosandrus germanus*, an invasive pest ambrosia beetle in Europe and North America. *Journal of Pest Science*, 94, 553–562.
- Frankjević, M.–Poršinsky, T.–Duka, A., 2016, Integrated oak timber protection from ambrosia bark beetles: economic and ecological importance in harvesting operations. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37, 353–364.
- Galko, J., 2013, First record of the ambrosia beetle, *Xylosandrus germanus* (Blandford, 1894) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Slovakia. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 58(4), 279.
- Galko, J.–Dzurenko, M.–Ranger, C.M.–Kulfan, J.–Kula, E.–Nikolov, C.–Zúbrik, M.–Zach, P., 2019, Distribution, Habitat Preference, and Management of the Invasive Ambrosia Beetle *Xylosandrus germanus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in European Forests with an Emphasis on the West Carpathians. *Forests*, 10, 10.
- Galko, J.–Kunca, A.–Rell, S.–Zúbrik, M.–Nikolov, Ch.–Gubka, A.–Vakula, A., 2015, Drvinárik čierny (*Xylosandrus germanus*) ako nový technický škodca na Slovensku. In: *Aktuálne problémy v ochrane lesa, Národné lesnícke centrum*, 35–41.
- Galko, J.–Nikolov, Ch.–Kimoto, T.–Kunca, A.–Gubka, A.–Vakula, J.–Zúbrik, M.–Ostrihoň, M., 2014, Attraction of ambrosia beetles to ethanol baited traps in a Slovakian oak forest. *Biologia*, vol. 69, 10, 1376–1383.
- Graf, E.–Manser, P., 2000, The imported Japanese scolytid beetle *Xylosandrus germanus*: biology and damage potential for stored round timber compared to *Xyloterus lineatus* and *Hylecoetus dermestoides*. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 151, 271–281.
- Grégoire, J.C.–Piel, F.–Proft, M.–Gilbert, M., 2001, Spatial distribution of ambrosia beetle catches: a possibly useful knowledge to improve mass-trapping. *Integrated Pest Management Reviews*, 237–242.
- Hoffmann, C.H., 1941, Biological observation on *Xylosandrus germanus*. *J. Econ. Entomol.*, 34: 38–42.
- Katovich, S., 2004, Insect attacking black walnut in the Midwestern United States. USDA, Forest Service, General Technical Report, 243, 121–126.
- Kostovcik, M.–Bateman, C.C.–Kolarik, M.–Stelinski, L.L.–Jordal, B.H.–Hulcr, J., 2015, The ambrosia symbiosis is specific in some species and promiscuous in others: evidence from community pyrosequencing, 9: 126–138.
- LaBonte, J.R.–Mudge, A.D.–Johnson, K.J.R., 2005, Nonindigenous woodboring Coleoptera (Cerambycidae, Curculionidae: Scolytinae) new to Oregon and Washington, 1999–2002: consequences of the intracontinental movement of raw wood products and solid wood packing materials. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 107, 554–564.
- Mayers, C.G.–McNew, D.L.–Harrington, T.C.–Roeper, R.A.–Fraedrich, S.W.–Biedermann, P.H.W.–Castrillo, L.A.–Reed, S.E., 2015, Three genera in the Ceratocystidaceae are the respective symbionts of three independent lineages of ambrosia beetles with large, complex mycangia. *Fungal Biol.*, 119, 1075–1092.
- Michael, E. Reding–Christopher, M. Ranger–Jason B. Oliver–Peter, B. Schultz, 2013, Monitoring Attack and Flight Activity of *Xylosandrus* spp. (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): The Influence of Temperature on Activity, *Journal of Economic Entomology*, 106, 4, 1780–1787.
- Rassati, D.–Lieutier, F.–Faccoli, M., 2016, Alien wood-boring beetles in Mediterranean regions. In: “Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems” (Payne TD, Lieutier F eds). Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 293–327.
- Reding, M.–Oliver, J.–Schultz, P.–Ranger, C., 2010, Monitoring flight activity of ambrosia beetles in ornamental nurseries with ethanol-baited traps: Influence of trap height on captures. *J. Environ. Hort.* 28, 85–90.
- Webber, B.C., 1982, The biology of the ambrosia beetle *Xylosandrus germanus* (Blandford) (Coleoptera: Scolytidae) and its effects on black walnut. Ph.D. Dissertation, Southern Illinois University, Carbondale, 222.
- Webber, B.C.–McPherson, J.E., 1983, Life History of Ambrosia Beetle *Xylosandrus germanus* (Coleoptera: Scolytidae), *Annals of the Entomological Society of America*, Volume 76, Issue 3, 455–462.
- Wingfield, M. J.–Barnes, I.–de Beer, Z.W.–Roux, J.–Wingfield, B.D.–Taerum, S.J., 2017, Novel associations between ophiostomatoid fungi, insects and tree hosts: current status future prospects. *Biol Inv.*, 19, 3215–3228.

INFORMÁCIE INFORMATION

ZHODNOTENIE HYDROLOGICKÉHO ROKA 2022

Hydrologický rok 2022 bol na základe operatívnych údajov z vybraných vodomerných staníc vyhodnotený z hľadiska vodnosti na väčšine územia ako suchý (povodie Dunaja, Nitry, Váhu, Hrona, Slanej, Hornádu a Bodrogu), veľmi suchý (povodie Moravy, Malého Dunaja a Ipl'a) a podnormálny na východe Slovenska, v povodí Popradu.

Úvod

Vplyvom klimatickej zmeny sa v posledných rokoch celý svet častejšie venuje téme sucha a nedostatku vody, týmto problémom sa zaoberáme aj my z hľadiska hydrológie. V predloženom príspevku hodnotíme hydrologický rok 2022 (1. 1. 2021 – 31. 10. 2022) z hľadiska vodnosti na základe operatívnych údajov zo 42 vodomerných staníc s dlhými radmi pozorovaní na území Slovenska, ktoré sú reprezentatívne na účely tohto hodnotenia. Hodnotenie je založené na porovnaní operatívnych údajov z hydrologického roka 2022 s dlhodobými údajmi aktuálne platného referenčného obdobia 1961 – 2000.

Klimatické pomery

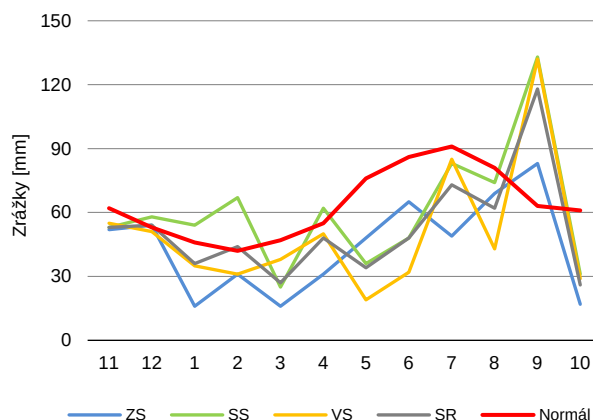
Na základe analýzy súboru údajov služby Copernicus Climate Change Service (C3S) bolo posledných osem rokov (2015 – 2022) najteplejších osem v histórii [1, 2], pričom kalendárny rok 2022 bude piatym najteplejším od roku 1850 [3]. Hoci rok 2022 neprekonal globálne teplotné rekordy, v mnohých častiach sveta bolo zaznamenaných množstvo teplotných rekordov [4].

Na území Slovenska bol hydrologický rok 2022 teplotne hodnotený ako normálny až silne nadnormálny rok. Prvé dva mesiace hydrologického roka boli teplotne nadpriemerné, vystriedal ich silne nadnormálny mesiac január, ktorý vystriedali normálne až slabonadnormálne mesiace február, marec a apríl 2022. Letné mesiace boli nadnormálne až silne nadnormálne, dokonca jún a august vynikali mimoriadne nadnormálnymi teplotami. Mesiac jún 2022 sa

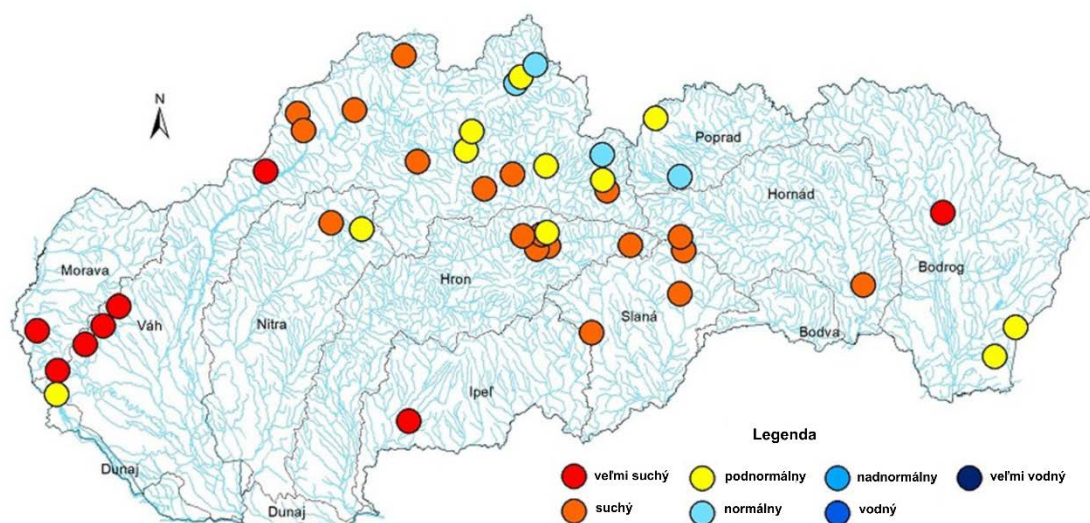
radí ako 3. najteplejší od roku 1931 z hľadiska územného celku [5]. Horúce leto vystriedal teplotne normálny mesiac, kým záver hydrologického roka uzavrel teplotne mimoriadne nadnormálny október 2022, najvýraznejšie v západnej až juhozápadnej časti Slovenska [6, 7].

Priemerný zrážkový úhrn na našom území v hydrologickom roku 2022 bol 623 mm, čo predstavuje 84 % dlhodobého zrážkového normálu. Začiatok hydrologického roka 2022 bol zrážkovo podnormálny, v decembri 2021 boli zrážky rovnomerne rozložené a dosahovali normálne hodnoty. V januári 2022 sa hodnoty opäť dostali pod normál, v mesiaci február boli hodnoty v norme, no na juhu silne podnormálne. Výrazne pod normál sa hodnoty priemerného zrážkového úhrnu dostali v letných mesiacoch máj (34 mm) až august, na západe Slovenska v mesiacoch apríl a máj, a na východe Slovenska v máji a júli, v júli opäť na západe a v auguste na východe nášho územia. Zrážky boli časovo aj priestorovo nerovnomerne rozdelené (Obr. 1). V mesiaci september 2022, vďaka výraznejším zrážkam, boli hodnoty priemerného zrážkového úhrnu nadnormálne (118 mm) na celom území Slovenska, koniec hydrologického roka bol však opäť výrazne podnormálny (26 mm) [8].

Obrázok 1. Zrážkové úhrny (v mm) na Slovensku v hydrologickom roku 2022 v porovnaní s dlhodobým normálom pre celé Slovensko (ZS – západné Slovensko, SS – stredné Slovensko, VS – východné Slovensko, SR – celé Slovensko).



Obrázok 2. Hodnotenie vodnosti v hydrologickom roku 2022 vo vybraných vodomerných staniciach SHMÚ (priemerné ročné prietoky v hydrologickom roku 2022 v porovnaní s dlhodobými priemernými ročnými prietokmi za referenčné obdobie 1961–2000).



Hodnotenie roka

Hodnotenie hydrologického roka 2022 je založené na analýze operatívnych údajov zo 42 vybraných vodomerných staníc (VS) s prevažne dlhodobými pozorovaniami a neovplyvneným režimom odtoku. Na hodnotenie vodnosti roka sme porovnali priemerné ročné prietoky v hydrologickom roku s dlhodobými priemernými ročnými prietokmi za platné referenčné obdobie rokov 1961–2000 ($Q_{a,1961-2000}$) (Obr. 2).

Na západnom Slovensku, v povodí Moravy, Dunaja a Malého Dunaja väčšina hodnotených staníc dosiahla hodnoty priemerného ročného prietoku veľmi suchého roka ($17,7–34,3\% Q_{a,1961-2000}$), výnimkou boli vodomerné stanice Bratislava - Dunaj a Nedožery - Nitra, ktorých hodnoty priemerných ročných prietokov dosiahli hodnoty kategórie podnormálny rok. Priemerné ročné prietoky v rozsahu $40–70\% Q_{a,1961-2000}$, sa vyskytli aj vo väčšine VS v povodiach Slovenska. V povodí horného Hrona a Popradu odpovedali hodnoty priemerného ročného prietoku hodnotených VS kategórii podnormálneho ($72,3–86,2\% Q_{a,1961-2000}$) a normálneho roka ($90,6–97,3\% Q_{a,1961-2000}$). Na východe Slovenska, v povodí Bodrogu, sa tiež vyskytli hodnoty hodnotené ako podnormálne. Až v 64 % hodnotených VS boli dosiahnuté hodnoty priemerného ročného prietoku v hydrologickom roku 2022 klasifikované ako hodnoty veľmi suchého až suchého roka. Minimálna ročná vodnosť ($17,7\% Q_{a,1961-2000}$) bola dosiahnutá v stanici Spariská - Vydrice v povodí Dunaja, a maximálna ročná vodnosť ($97,3\% Q_{a,1961-2000}$) bola dosiahnutá v stanici Zubrohlava - Polhoranka v povodí Váhu.

Priemerné mesačné prietoky

Na vyhodnotenie priemerných mesačných prietokov v riešenom hydrologickom roku sme porovnali priemerné mesačné prietoky v jednotlivých mesiacoch (Q_m) s odpovedajúcimi dlhodobými priemernými mesačnými hodnotami

(Q_{ma}) za platné referenčné obdobie 1961–2000. Hodnoty percentuálneho pomeru v rozsahu $80–120\% Q_{ma}$ radíme medzi hodnoty blízke príslušným dlhodobým hodnotám, mesiace s Q_m menším ako $80\% Q_{ma}$ hodnotíme ako podnormálne až suché a za extrémne suché mesiace považujeme mesiace, ktoré dosiahli hodnoty $Q_m < 20\% Q_{ma}$. Mesiace s hodnotami Q_m vyššími ako $120\% Q_{ma}$ označujeme ako nadnormálne až extrémne vodné mesiace ($Q_m > 200\% Q_{ma}$).

November 2021 bol z hľadiska vodnosti výrazne podnormálny až suchý mesiac, najviac sa to prejavilo v povodí Váhu, kde stanice Oravská Jasenica - Veselianska, Dohňany - Biela voda a Horné Slnie - Vlára dosiahli minimálne hodnoty percentuálneho pomeru Q_m pre kategóriu suchý mesiac ($25\% Q_{ma}$). Výnimkou bola stanica Východná - Biely Váh ($82\% Q_{ma}$) v povodí Váhu a stanica Poprad, Matejovce - Slavkovský potok ($93\% Q_{ma}$) v povodí Popradu. Výrazne podnormálne vodným sa ukázal aj mesiac december. Až 48 % sledovaných staníc dosiahlo hodnoty výrazne podnormálnej vodnosti, najmä v povodí Malého Dunaja, Nitry a Váhu, kde až polovica sledovaných staníc dosahovala hodnoty Q_m nižšie ako $40\% Q_{ma}$. Výnimkou bola opäť stanica Poprad, Matejovce - Slavkovský potok, kde hodnota Q_m dosiahla hranicu normálnej vodnosti. V povodí Bodrogu, stanice Lekárovce - Uh a Veľké Kapušany - Latorica, boli tiež dosiahnuté hodnoty normálnej vodnosti ($86–92\% Q_{ma}$).

Vďaka výraznejším zrážkam v decembri, nasledujúce dva mesiace dosahovali hodnoty normálnej vodnosti. V mesiaci január 12 % sledovaných staníc dosiahlo hodnoty výrazne nadnormálnej vodnosti, a až 14 % extrémnej vodnosti v povodí Váhu, Bodrogu a Popradu. V mesiaci január bola dosiahnutá aj najvyššia hodnota vodnosti, $263\% Q_{ma}$ v povodí Váhu, stanica Lokca - Biela Orava, hodnoty extrémnej vodnosti boli dosiahnuté aj v stanici Zubrohlava - Polhoranka ($246\% Q_{ma}$) a v stanici Poprad-Matejovce - Slavkovský potok v povodí Popradu ($229\% Q_{ma}$). Naopak, v povodí Dunaja, v stanici Spariská - Vydrice bola dosiahnutá hodnota extrémneho sucha pre daný mesiac ($18\% Q_{ma}$). V mesiaci

február väčšina staníc dosiahla hodnoty normálnej až nadnormálnej vodnosti. Hodnota extrémnej vodnosti bola dosiahnutá v povodí Váhu v stanici Bytča - Petrovička (227 % Q_{ma}). V oblasti Malých Karpát hodnoty naďalej zotrvali na hodnotách menších ako 40 % Q_{ma} , v sledovaných staniách Spariská - Vydrice v povodí Dunaja a Píla - Gidra v povodí Malého Dunaja hodnoty zotrvali na hodnotách extrémneho sucha.

Vzhľadom na stúpajúcu teplotu a klesajúce zrážky, najmä v oblasti na západe Slovenska, boli v marci vo väčšine sledovaných staníc západného Slovenska dosiahnuté hodnoty sucha až extrémneho sucha v povodí Malého Dunaja (Pezinok - Blatina, Píla - Gidra) a v stanici Spariská - Vydrice v povodí Dunaja. Napriek tomu, v stanici Bratislava - Dunaj bola dosiahnutá hranica podnormálnej až výrazne podnormálnej vodnosti (62 % Q_{ma}). Hodnoty extrémneho sucha boli dosiahnuté na území celého Slovenska, okrem spomínaného západného Slovenska, v staniách Dohňany - Biela voda, Horné Slnie - Vlára v povodí Váhu, v stanici Plášťovce - Litava (10 % Q_{ma}) v povodí Ipľa a v stanici Jasenovce - Olka v povodí Bodrogu.

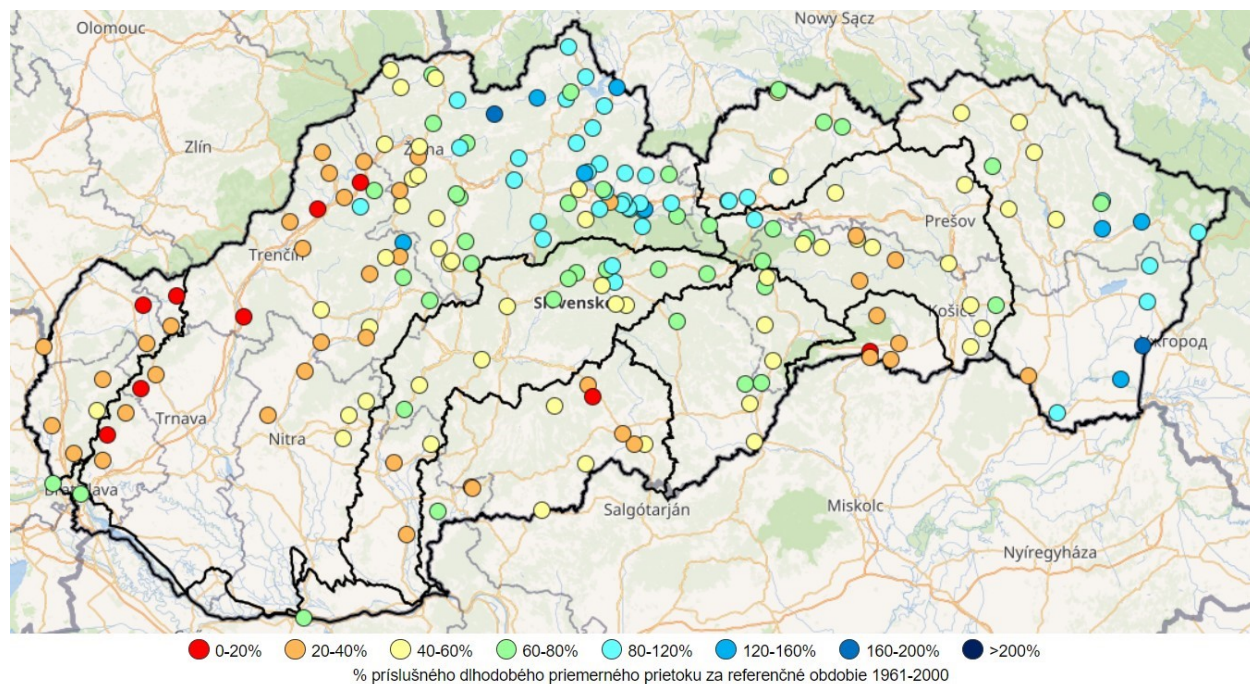
Mesiace apríl (Obr. 3) a máj sa vyznačovali normálnou až podnormálnou vodnosťou, hodnoty nadnormálnej vodnosti boli dosiahnuté na východe Slovenska, v stanici Lekárovice - Uh, Poprad - Matejovce - Slavkovský potok a Veľké Kapušany - Latorica (152 – 136 % Q_{ma}). Sledované stanice na západnom území Slovenska zotrvali na hodnotách normálnej vodnosti (92 % Q_{ma} v stanici Nedožery - Nitra, povodie Nitra) až extrémneho sucha (11 % Q_{ma} v stanici Pezinok - Blatina, povodie Malého Dunaja).

V dôsledku ubúdajúcich zrážok (výrazne podnormálne) a stúpajúcich teplôt (silno nadnormálne) boli letné mesiace jún, júl a august vyhodnotený aj hydrologicky ako suché mesiace. Vo viac ako 50 % sledovaných staniách

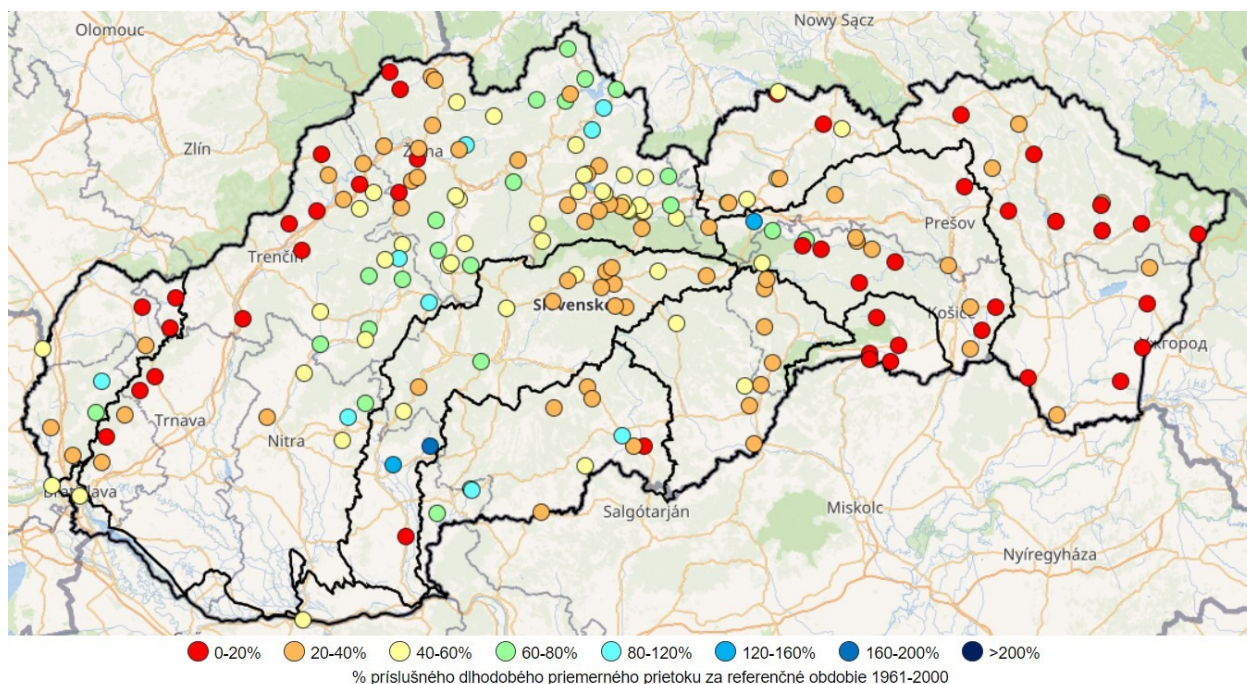
hodnoty vodnosti dosahovali hodnoty suchého mesiaca a približne 25 % staníc sa zaradilo do kategórie extrémne suchého mesiaca. Mesiac jún bol výrazne podnormálny až suchý mesiac, najmä v povodí Váhu, Hrona a Slanej. V povodí Popradu (Poprad - Matejovce - Slavkovský potok) a Dunaja (Bratislava - Dunaj) boli dosiahnuté vyššie hodnoty vodnosti (61 – 68 % Q_{ma}) ako vo väčšine sledovaných staníc na území Slovenska. V júli boli v povodí Popradu dosiahnuté podnormálne hodnoty vodnosti, inak bol mesiac júl vo väčšine sledovaných staníc vyhodnotený ako suchý až extrémne suchý mesiac. V povodí Dunaja, v stanici Spariská - Vydrice bola dosiahnutá minimálna mesačná hodnota vodnosti v riešenom hydrologickom roku (3 % Q_{ma}). V auguste (Obr. 4) sa vodnosť na celom území Slovenska zvýšila, v povodiach Ipľa (Plášťovce - Litava) a Poprad (Ždiar - Podspády - Javorinka) boli dosiahnuté hodnoty normálnej vodnosti (82 – 88 % Q_{ma}). Hodnoty extrémneho sucha boli opäť dosiahnuté v povodí Bodrogu (11 – 19 % Q_{ma}), Váhu (Vydma - Petrince, 9 % Q_{ma} , Horné Slnie - Vlára, 8 % Q_{ma}), Dunaja (Spariská - Vydrice, 14 % Q_{ma}) a Malého Dunaja (Pezinok - Blatina, Horné Orešany - Parná, 8 – 13 % Q_{ma}).

Výrazné zrážky a teplotne normálny september mali vplyv na vodnosť na celom území Slovenska v sledovaných staniách. Najvyššie hodnoty vodnosti boli dosiahnuté v povodí Váhu, kde bolo dosiahnutých 120 – 186 % Q_{ma} , čo sú hodnoty nadnormálnej a výrazne nadnormálnej vodnosti. V povodí Malého Dunaja hodnoty vodnosti zotrvali na hodnotách extrémneho sucha, sledované stanice v povodiach Hrona, Slanej a Hornádu dosiahli hodnoty výrazne podnormálnej vodnosti (47 – 57 % Q_{ma}). Hodnoty normálnej vodnosti boli dosiahnuté v povodí Bodrogu (Veľké Kapušany - Latorica, 84 % Q_{ma} , Jasenovce - Olka, 93 % Q_{ma}) a v povodí Váhu (Východná - Biely Váh, 95 % Q_{ma} , Podbanské - Belá, 99 % Q_{ma} , Čadca - Kysuca, 89 % Q_{ma}).

Obrázok 3. Operatívne hodnoty priemernej mesačnej vodnosti v apríli 2022 [9].



Obrázok 4. Operatívne hodnoty priemernej mesačnej vodnosti v auguste 2022 [9].



Záver hydrologického roka 2022, mesiac október, bol vyhodnotený ako normálny mesiac z hľadiska vodnosti. Najvyššia vodnosť, na úrovni výrazne nadnormálnej vodnosti, bola dosiahnutá v povodí Váhu v stanici Zubrohlava - Polhoranka ($167\% Q_{ma}$) a najnižšia hodnota vodnosti na úrovni extrémneho sucha v danom mesiaci bola dosiahnutá v povodí Malého Dunaja v stanici Horné Orešany - Parná ($16\% Q_{ma}$).

Extrémy

Minimálne priemerné denné prietoky dosiahnuté v hydrologickom roku 2022 sme porovnali s dlhodobými hodnotami M-denných prietokov stanovenými za referenčné obdobie 1961–2000. Následne bolo toto porovnanie použité na hodnotenie hydrologického sucha. Riziko začínajúceho sa suchého obdobia predstavujú priemerné denné prietoky Q_d , ktoré poklesnú pod úroveň $Q_{330d,1961-2000}$. Zo 42 hodnotených VS boli hodnoty priemerných denných prietokov menšie ako $Q_{330d,1961-2000}$ minimálne jeden deň v hydrologickom roku v 39 zo 42 vodomerých staníc. Z nich až v 24 vodomerých staniciach bola hodnota nižšia ako $Q_{364d,1961-2000}$. Vo zvyšných 3 vodomerých staniciach priemerné denné prietoky dosiahli hodnoty menšie ako $Q_{270d,1961-2000}$. Z hľadiska časového výskytu sa minimálne prietoky vyskytovali najčastejšie v mesiacoch august (38,1 %), júl (26,2 %) a december (14,3 %). Hydrologický rok 2022 sa teda predbežne javí ako suchší v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi 2021 a 2020.

Hydrologický rok 2022 nepatrí medzi roky s veľkým množstvom povodňových situácií. Vo vodomernej stanici Bytča - Petrovička v povodí Váhu bola maximálna kulminácia $20,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vo februári 2022, čo zodpovedá 2- (Q_2) až 5-ročnému prietoku (Q_5). Od roku 1961 to bol 4. najvyšší maximálny prietok v danej lokalite. V povodí Váhu

(Lokca - Biela Orava, Zubrohlava - Polhoranka) a Hrona (Mýto pod Ďumbierom - Štiavnička) sa vyskytli tri kulminácie zodpovedajúce 2-ročnému prietoku (Q_2). Až v 70 % vodomerých staniciach sa vyskytli kulminačné prietoky nižšie ako 1-ročný prietok. Kulminačné prietoky sa najčastejšie vyskytovali v apríli (38,1 %), februári (23,8 %) a máji (11,9 %).

Záver

Na väčšine územia sme hydrologický rok 2022 na základe operatívnych údajov z hľadiska vodnosti vyhodnotili ako suchý. Výnimku tvorilo povodie Popradu na východe Slovenska, kde sa javil ako podnormálny. V povodí Moravy a Malého Dunaja, na západe Slovenska, a v povodí Ipľa bol vyhodnotený ako veľmi suchý. Hydrologický rok bol teplotne normálny až silne nadnormálny, zrážkovo normálny až podnormálny s výraznejšími zrážkami v decembri a septembri 2022. Vďaka týmto zrážkam sa mesiace január, február, apríl a október javili ako normálne mesiace z hľadiska vodnosti. V januári bola zaznamenaná najvyššia hodnota mesačnej vodnosti v danom roku v porovnaní s referenčným obdobím 1961–2000. Ostatné mesiace roka hodnotíme ako výrazne podnormálne až suché mesiace. Najnižšia hodnota mesačnej vodnosti v danom roku v porovnaní s referenčným obdobím 1961–2000 bola pozorovaná v júli 2022. Oproti posledným dvom hydrologickým rokom bol tento rok výrazne suchší, až v 57 % hodnotených staníc sa vyskytli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{364d} , čo je prejavom hydrologického sucha.

Na základe predbežných analýz vykonaných na operatívnych údajoch sa hydrologický rok 2022 pravdepodobne zaradi medzi suchšie roky v poslednom desaťročí, k rokom 2007, 2011, 2012 a 2018.

Literatúra

- [1] Copernicus Climate Change Service, 2023: *Globe in 2022*. [online], [citované 10.1.2023]. Dostupné na <https://climate.copernicus.eu/globe-2022>.
- [2] Faško, P.–Ivaňáková, G.–Kajaba, P., 2023, *Priestorové hodnoty teploty vzduchu a atmosférických zrážok na Slovensku v roku 2022*. [online], [citované 31.1.2023]. Dostupné na: <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1305>.
- [3] World meteorological organization, 2022, *WMO Provisional State of the Global Climate 2022*. [online], [citované 10.1.2023]. Dostupné na https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11359.
- [4] World meteorological organization, 2022, *Climate and weather extremes in 2022 show need for more action*. [online], [citované 10.1.2023]. Dostupné na <https://public.wmo.int/en/media/news/climate-and-weather-extremes-2022-show-need-more-action>.
- [5] OKS SHMÚ, 2022, *Bulletin meteorológia a klimatológia, Slovenská republika*. 6/2022. [online], [citované 31.1.2023]. Dostupné na https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/publikacie/1663141887_Bulletin_06_2022_prac_ver.pdf.
- [6] Lapin, M., 2023, *Aktuálne zmeny teploty a zrážok na Slovensku. Prehľad zmien teploty vzduchu a úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku v uplynulom roku*. [online], [citované 10.1.2023]. Dostupné na <https://milanlapin.estranky.sk/clanky/aktualne-zmeny-teploty-a-zrazok-na-slovensku/>.
- [7] OKS SHMÚ, 2022: *Bulletin meteorológia a klimatológia, Slovenská republika*. 10/2022. [online], [citované 31.1.2023]. Dostupné na https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/publikacie/1669801265_Bulletin_10_2022_prac_ver.pdf.
- [8] Lapin, M., 2023: *Tabuľka mesačných úhrnov zrážok na Slovensku. Mesačné úhrny zrážok v 3 regiónoch SR a v celej SR*. [online], [citované 10.1.2023]. Dostupné na <https://milanlapin.estranky.sk/clanky/tabulka-mesacnych-uhrnov-zrazok-na-slovensku.html>.
- [9] SHMÚ, 2022, *Monitoring sucha, Hydrologické sucho, mesačné prietoky*. [online], [citované 18.1.2023]. Dostupné na https://www.shmu.sk/sk/index.php?page=1&id=hydro_sucho

Katarína Kotríková, Lotta Blaškovičová,
Katarína Jeneiová, Soňa Liová, Jana Podolinská,
Katarína Slivková, Beáta Síčová, SHMÚ, Bratislava

KLIMATOLOGICKÁ STANICA V ORAVSKEJ LESNEJ ZAČALA POZOROVAŤ PRED 80 ROKMI

So začiatkom roka 1943 sa v hornooravskej Oravskej Lesnej (v minulosti nazývanej Erdútka, Erdútka či Erdutka) začali uskutočňovať klimatologické pozorovania, ktoré tu v nadmorskej výške takmer 800 m iba s malými prerušeniami (najdlhšie bolo tesne po skončení 2. svetovej vojny od júna 1945 do júna 1946 vrátane) trvajú napokon až dodnes. Miestna meteorologická stanica s klimatologickým programom pozorovaní nadviazala na pôsobenie stanice zrážkomernej, ktorá bola v obci zriadená už v roku 1902. Počas celej doby svojej prevádzky ide o pozorovací bod, náležiaci do kategórie dobrovoľníckych (neprofesionálnych) staníc, spomedzi ktorých je jednou z najstarších fungujúcich v našej klimatologickej staničnej sieti.

Počiatkové umiestnenie stanice bolo na miestnej fare a úplne prvým pozorovateľom rímskokatolícky kňaz Jozef Banás. V apríli 1950 bola stanica premiestnená k hájovni na Pribišskej na dolnom konci dediny, kde ju spravoval lesník Anton Straka, už v júni 1955 sa ale vrátila späť do centrálnej časti obce. Tu sa následne o jej chod zaslúžili dve rodiny pozorovateľov. O čosi kratšie z nich sa pozorovaniam venovali Opartyovci medzi rokmi 1978 a 1995, najviac je však prevádzka stanice spätá s dvoma pokoleniami Murínovcov. Medzi rokmi 1955 a 1977 to boli manželka Helena a Jozef a neskôr, od prelomu júna a júla 1995, činnosť stanice zabezpečoval ich syn Ladislav za výpomoci manželky Margity. Po smrti Ladislava Murína v roku 2020 postupne došlo k zmene charakteru prevádzkovania stanice; v súčasnosti je takmer kompletne činná na báze automatických meraní.

Hornatá Horná Orava je z klimatického hľadiska jedným z najchladnejších osídlených kútov Slovenska. Práve Oravská Lesná je aj medzi verejnosťou dobre známym miestom vďaka zaznamenávaniu mimoriadne nízkych hodnôt minimálnej teploty vzduchu, osobitne počas zimy. Výnimočne silné mrazy sú tu charakteristicky registrované predovšetkým v počiatkových fázach advekcií studenej vzduchovej hmoty na čerstvej snehovej pokrývke. Veľmi príznačnou v tomto kontexte je zaujímavosť, že už 12. januára 1943, teda ani nie po dvoch týždňoch svojej prevádzky, bolo na stanici nameraných $-36,0^{\circ}\text{C}$. Na opačnej strane teplotných extrémov je pre zmenu hodné povšimnutia, že historický rekord najvyššej zaznamenatej teploty vzduchu tu pochádza, ako na jednej z posledných zo širšieho súboru našich historicky najdlhšie merajúcich staníc, z dávnejších čias, ešte z augusta 1952.

Stanica je vzhľadom k svojej polohe schopná zachytávať mimoriadne vysoké úhrny atmosférických zrážok, veľmi typicky pri situáciách so severozápadným prúdením. V chladnej časti roka sa takéto podmienky pretavujú do stavu, pri ktorom býva lokalita bohatá na množstvo spadnutého snehu. V najvýznamnejších prípadoch sa tu dokáže vytvoriť snehová pokrývka s celkovou výškou 150–200 cm, hoci v súčasnej klíme sa takto vysoké hodnoty javia už ako ťažšie dosahovateľné vzhľadom k prerušovanejšiemu výskytu období so snehovou pokrývkou. Aj v súvislosti s týmito zmenami snehových pomerov, pričom môžeme hovoriť o všeobecnom náraste nepravidelnosti vo výskyte zrážok (ubúdajúci počet zrážkových dní), a taktiež v kombinácii s narastajúcim výparom, sa v poslednom období aj v geografickom priestore Oravskej Lesnej prejavuje sucho, s čím sa v tejto oblasti veľmi nepočítalo.

Literatúra

- Kol. autorov, 1972, *Klimatické a fenologické pomery Stredoslovenského kraja*. Bratislava: Hydrometeorologický ústav. 432 s.
- Konček, M.–Briedoň, V., 1964, *Sneh a snehová pokrývka na Slovensku*. Bratislava: Československá akadémia vied. 76 s.
- Rošták, J., 2017, *Pár slov s našim meteorológom Ladislavom Murínom*. Lesníanske noviny 9(1): 4.

Dalibor Výberčí
Pavol Faško, SHMÚ, Bratislava

Obrázok 1. Pohľad na niekdajšiu záhradku meteorologickej stanice v Oravskej Lesnej začiatkom februára 2013 (autor a zdroj: Martin Pavelek/myorava.sme.sk).



Obrázok 2. Ladislav Murín na zábere z februára 2013 pri termínovom odčítaní údajov v meteorologickej búde (autor - Martin Pavelek, zdroj - myorava.sme.sk).



Tabuľka 1. Extrémy vybraných meteorologických charakteristík, zaregistrované na klimatologickej stanici Oravská Lesná (od roku 1943; stav do konca apríla 2023).

Charakteristika	Hodnota	Termín zaznamenania
Najvyššia dosiahnutá teplota vzduchu	33,8 °C	15. augusta 1952
Najnižšia dosiahnutá teplota vzduchu	-37,1 °C	27. januára 1954
Najvyššia priemerná ročná teplota vzduchu	7,4 °C	2014
Najnižšia priemerná ročná teplota vzduchu	3,2 °C	1956
Najvyššia priemerná mesačná teplota vzduchu	18,8 °C	jún 2019
Najnižšia priemerná mesačná teplota vzduchu	-13,9 °C	február 1956
Najvyšší ročný úhrn atmosférických zrážok	1511,0 mm	2010
Najnižší ročný úhrn atmosférických zrážok	823,9 mm	1954
Najvyšší mesačný úhrn atmosférických zrážok	345,1 mm	júl 2001
Najnižší mesačný úhrn atmosférických zrážok	0,6 mm	november 2011
Najvyšší denný úhrn atmosférických zrážok	163,2 mm	18. júla 1970
Maximálna výška novej snehovej pokrývky za deň [od r. 1951]	48 cm	19. decembra 1988
Maximálna výška celkovej snehovej pokrývky [od r. 1921]	250 cm	1. februára 1923

HYDROLOGICKÝ ROK 2022 V PODZEMNEJ VODE

Zhodnotenie hydrologického roka 2022 bolo spracované s využitím operatívnych údajov nameraných na vybraných objektoch štátnej hydrologickej siete podzemnej vody Slovenského hydrometeorologického ústavu (ďalej „SHMÚ“). Z hľadiska dopĺňania a stavu zásob podzemnej vody nebol hydrologický rok 2022 vôbec priaznivý. Za hodnotené obdobie sa nevyskytol ani jeden mesiac, v ktorom by sme zdokumentovali výraznejšie dopĺňanie zdrojov a zásob podzemnej vody. Zaradíme ho do skupiny **podpriemerných – suchých hydrologických rokov**. Do tejto skupiny bol naposledy zaradený hydrologický rok 2019.

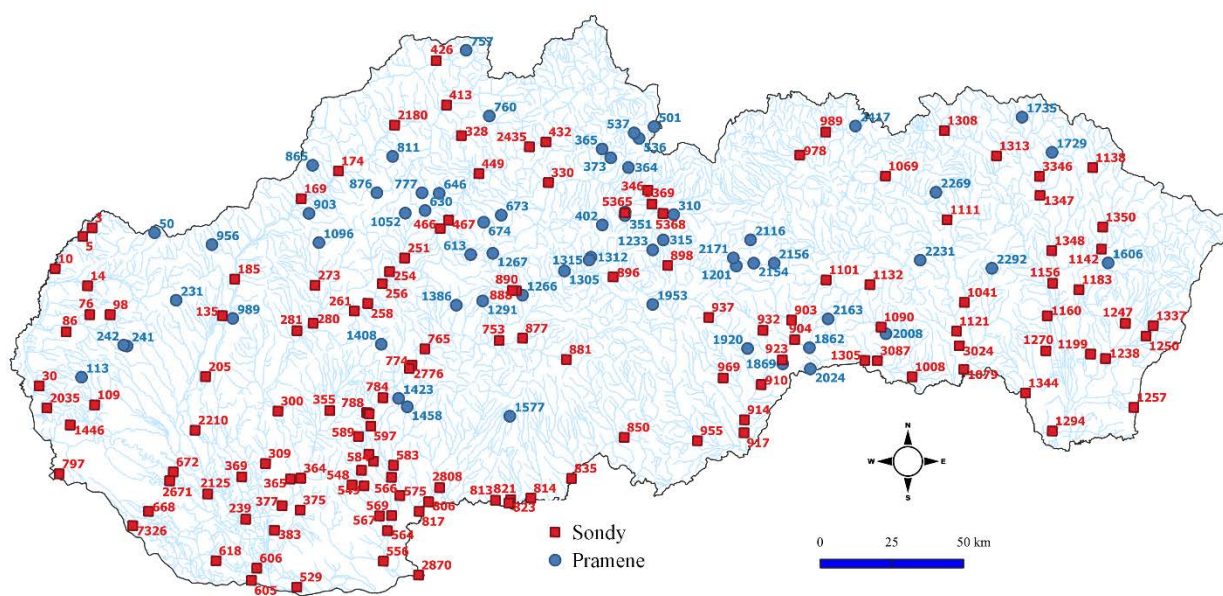
Úvod

Hodnotenie podzemnej vody za hydrologický rok 2022 bolo spracované v mesačnom kroku, na základe nameraných údajov z vybraných 204 referenčných, antropogénne neovplyvnených, pozorovacích objektov, tvoriacich súčasť štátnej hydrologickej siete podzemnej vody SHMÚ. Z uvedených 204 pozorovacích objektov 112 objektov poskytuje monitorované údaje online, ktoré sú aj s hodnotením voľne dostupné na internetovej stránke SHMÚ (http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=pzv_kvantita) a umožňujú odbornej a laickej verejnosti priebežne sledovať stav a zmeny podzemnej vody na Slovensku. Referenčné objekty, výrazne orientované na hodnotenie sucha a dopadu klimatických zmien na podzemnú vodu, predstavujú takmer 13 % z celkového počtu pozorovacích objektov štátnej hydrologickej siete podzemnej vody spravovaných SHMÚ a pozostávajú zo 141 sond a 63 prameňov, relatívne homogénne umiestnených na celom území Slovenska (Obr. 1).

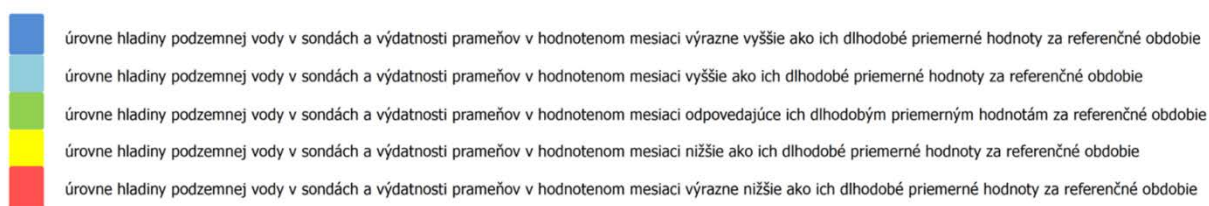
Zhodnotenie podzemnej vody v jednotlivých mesiacoch hydrologického roka

Zrážkovo suchá jeseň 2021 a zároveň aj záver hydrologického roka 2021 (október 2021) sa prejavili negatívne v podzemnej vode už aj na začiatku hydrologického roka 2022 (Obr. 3), výdatnosti prameňov a hladina podzemnej vody až v 77 % referenčných objektov boli nižšie, ako ich dlhodobý priemer. Hoci sa zrážková situácia v novembri 2021 trochu vylepšila, hlavne na severe a krajnom východe Slovenska, patril celkovo tento mesiac medzi zrážkovo normálne (85 % dlhodobého normálu). Napriek predpokladu mierneho nárastu hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov, bola realita menej optimistická. V rámci celého územia Slovenska naďalej (i keď veľmi mierne) dochádzalo k poklesom hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov. Mesiac november sa tak zaradil medzi priemerné – mierne podpriemerné mesiace (Obr. 6, 7). December 2021 zrážkovo tiež patril medzi normálne mesiace (102 % dlhodobého normálu), ale predpokladáme že v podzemnej vode až teraz došlo k odozve zrážok z predošlého mesiaca. Spôsobilo to zastavenie poklesov a mierny nárast hladiny a výdatnosti prameňov (hlavne na severe a krajnom východe). December bol zaradený (obdobne ako november) medzi priemerné – mierne podpriemerné mesiace (Obr. 6, 7). Január 2022 bol síce zrážkovo podpriemerný (78 % dlhodobého normálu), ale výdatnejšie zrážky v predošlom mesiaci spôsobili, že tento mesiac bol zaradený **medzi priemerné mesiace a zároveň to bol najpriaznivejší mesiac zo všetkých mesiacov hydrologického roka 2022** (Obr. 6, 7). A to i napriek tomu, že s výnimkou severnej časti územia Slovenska, prevládali hladina podzemnej vody a výdatnosti prameňov výrazne nižšie a nižšie ako je ich normál referenčného obdobia takmer na celom Slovensku.

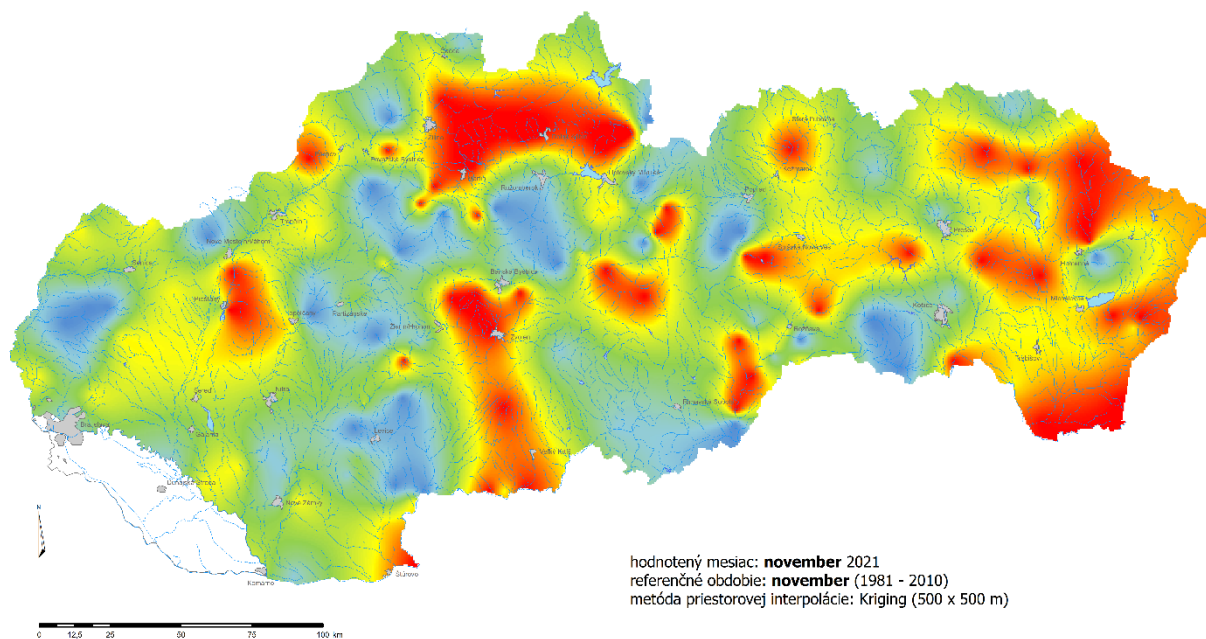
Obrázok 1. Lokalizácia hodnotených objektov.



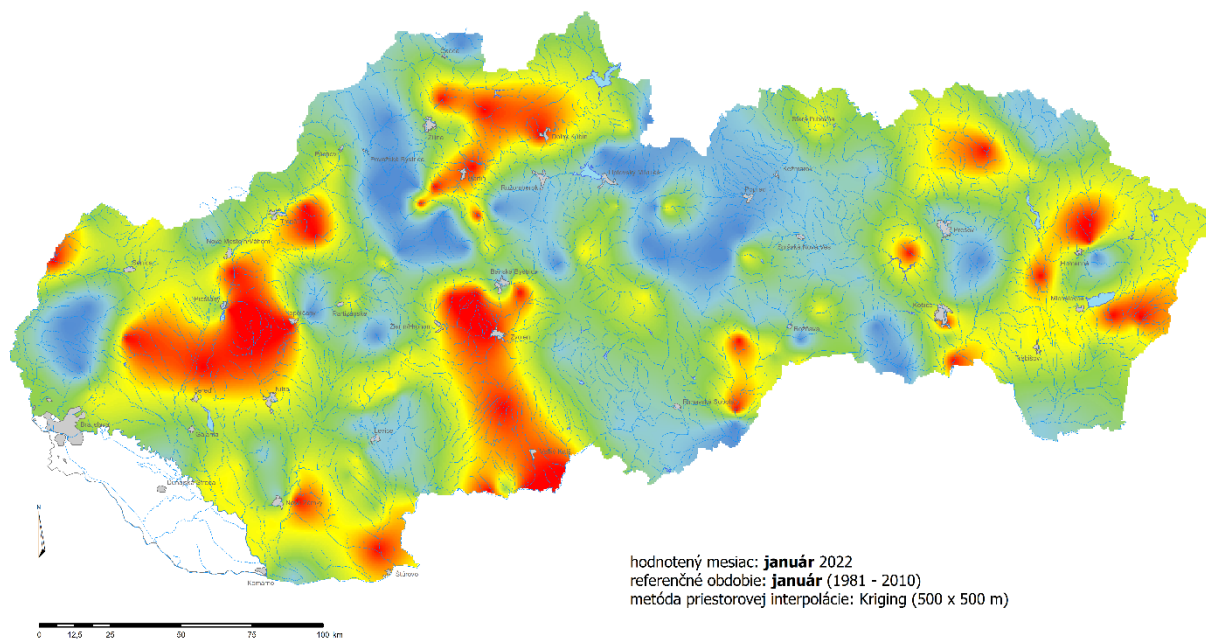
Obrázok 2. Legenda k vybraným mapovým výstupom (Obr. 3, 4, 5).



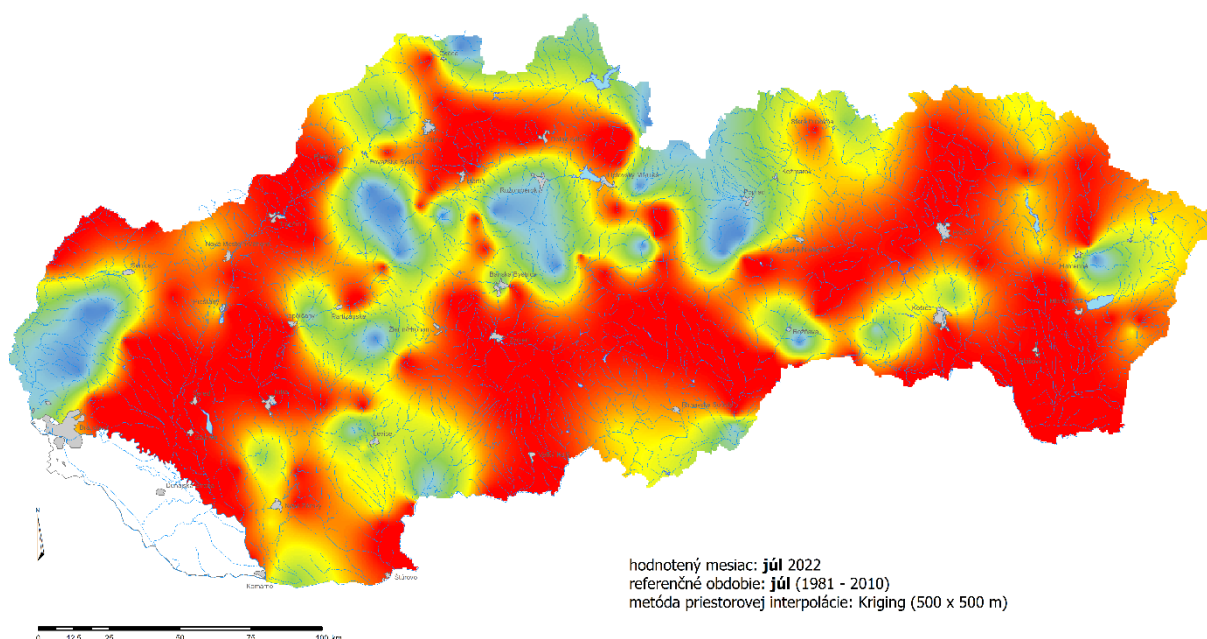
Obrázok 3. Priestorové hodnotenie podzemnej vody v novembri 2021.



Obrázok 4. Priestorové hodnotenie podzemnej vody v januári 2022.



Obrázok 5. Priestorové hodnotenie podzemnej vody v júli 2022.

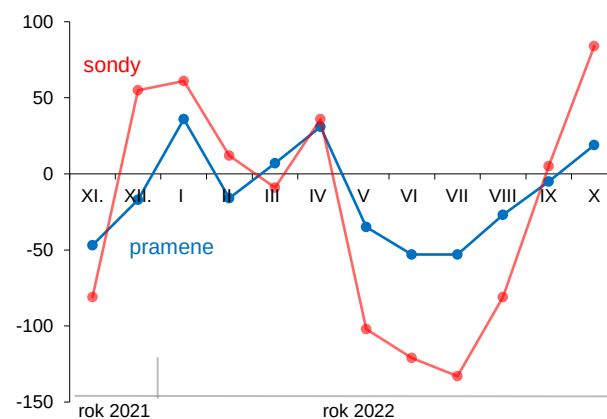


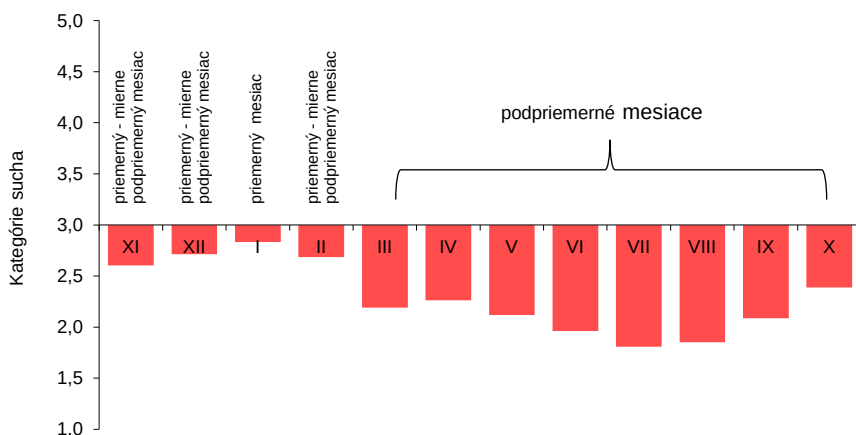
Situácia sa v podzemnej vode nezlepšovala ani nasledujúci mesiac február, ktorý bol z hľadiska zrážok hodnotený ako normálny mesiac (105 % normálu), ale stále pretrvával deficit zrážok a naďalej dochádza k poklesom hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov. Z hľadiska podzemnej vody bol tento mesiac zaradený medzi priemerné – mierne podpriemerné mesiace (Obr. 6, 7). V jarných mesiacoch (marec – máj), v dôsledku pretrvávajúceho deficitu zrážok, sa situácia v dopĺňaní hydrogeologických štruktúr nezmenila. Hladina podzemnej vody a výdatnosti prameňov poklesávali a dochádzalo k pozvoľnému prázdneniu zásob podzemnej vody. Marec bol z hľadiska zrážok zaradený medzi suché mesiace (58 % dlhodobého normálu), apríl medzi normálne mesiace (87 % dlhodobého normálu) a máj bol zaradený medzi zrážkovo veľmi suché mesiace (45 % dlhodobého normálu). Deficit efektívnych zrážok v spojení s chýbajúcou dlhšie trvajúcou súvislou snehovou pokrývkou v zimnom období sa negatívne prejavili nielen v marci, ale aj v nasledujúcich mesiacoch. Marcom sa v podzemnej vode začína osemmesačná perióda podpriemerných, suchých mesiacov hydrologického roka 2022. Apríl bol vyhodnotený ako podpriemerný suchý mesiac a v máji sa situácia v podzemnej vode ešte zhoršila. Naďalej dochádzalo k poklesom na zdrojoch podzemnej vody, dokonca boli už evidované prvé podkročenia dlhodobých miním na niektorých prameňoch. Čo bolo pre podzemné vodné zdroje veľmi zlé bol fakt, že v letnom období kontinuálne pokračoval zrážkový deficit (jún 56 % dlhodobého normálu zrážok, august 77 % dlhodobého normálu). Tieto dva letné mesiace boli zaradené medzi zrážkovo suché. Júl (8 % dlhodobého normálu) patril dokonca medzi veľmi suché mesiace, aj napriek výskytu búrkových lejakov, ktoré sa v mesiaci občas vyskytli. Prehlbujući sa deficit zrážok spôsoboval pokles na zdrojoch podzemnej vody a samozrejme aj hladina podzemnej vody sa neodvratne približovala k ich dlhodobým minimám.

V júli bolo na 25 % hodnotených objektov, hlavne na prameňoch, podkročené ich dlhodobé minimum. Všetky tri letné mesiace boli hodnotené z hľadiska podzemnej vody ako suché mesiace. Dopad sucha bol najintenzívnejší v mesiacoch júl a august (Obr. 7). Ako je vidieť na Obr. 5, hladina podzemnej vody a výdatnosti prameňov sa vyskytovali takmer na celom území Slovenska výrazne nižšie ako je ich dlhodobý normál referenčného obdobia.

V závere hydrologického roka 2022 došlo k zmierneniu sucha, vďaka nadnormálnym zrážkam v septembri (187 % dlhodobého normálu). Ich nerovnomerný výskyt ale spôsobil, že nie u všetkých prameňov a sond došlo k zvráteniu ich nepriaznivého stavu. Dopĺňanie zásob podzemnej vody nebolo dostatočné a mesiace september a október boli vyhodnotené ako podpriemerné, teda suché mesiace (Obr. 6, 7).

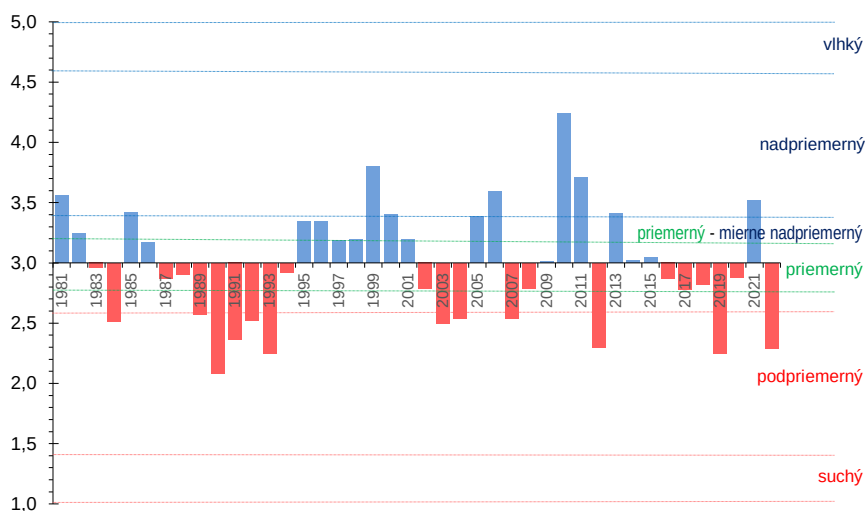
Obrázok 6. Kumulatívne zobrazenie medzimesačných zmien v objektoch podzemnej vody (nárasty/poklesy hladiny podzemnej vody, resp. výdatnosti prameňov) v hydrologickom roku 2022.





Obrázok 7.
Hodnotenie jednotlivých
mesiacov hydrologického
roka 2022 z pohľadu
podzemnej vody.

Obrázok 8.
Zhodnotenie jednotlivých
rokov obdobia 1981 – 2022
z hľadiska podzemnej vody.



Záver

Hydrologický rok 2022 hodnotíme z hľadiska zrážok ako veľmi suchý rok a z pohľadu podzemnej vody spadá do **kategórie podpriemerných suchých hydrologických rokov**. Podobne nepriaznivý hydrologický rok pre dopĺňanie zdrojov a zásob podzemnej vody bol nie tak dávno vyhodnotený pred tromi rokmi hydrologický rok 2019 (Obr. 8).

Literatúra

- Bochníček, O. et al., *Bulletin meteorológia a klimatológia* (November – December 2021), roč. 27, č. 11 – 12, SHMÚ 2021.
- Bochníček, O. et al., *Bulletin meteorológia a klimatológia* (Január – Október 2022), roč. 28, č. 1 – 10, SHMÚ 2021.
- Klimatológia mapové produkty:
<http://www.shmu.sk/sk/?page=1610&id>
- Slivová, V.–Kullman, E.–Paľušová, Z., *Hydrologický rok 2021 z aspektu podzemnej vody*. Vodohospodársky spravodajca 3–4, roč. 2022, str. 12.
- Operatívna databáza podzemných vôd SHMÚ:
http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=pzv_kvantita.

Valéria Slivová, Eugen Kullman, Zuzana Paľušová
SHMÚ, Bratislava

KONFERENCIA EURÓPSKEJ METEOROLOGICKEJ SPOLOČNOSTI 2023

Európska meteorologická spoločnosť spája národné meteorologické spoločnosti v Európe a jej členom je aj Slovenská meteorologická spoločnosť. Každoročne usporadúva Konferenciu EMS, kde sa stretávajú a vymieňajú si odborné vedomosti a skúsenosti odborníci z oblasti meteorológie a klimatológie a príbuzných odborov, najmä so zameraním na strategické otázky súvisiace s budúcnosťou meteorológie v Európe.

Prvá odborná Konferencia EMS sa konala v roku 2001 v Budapešti a bola súčasťou 5. Európskej konferencie o aplikovanej meteorológii. Až do roku 2016 sa Konferencia EMS organizovala striedavo s Európskou konferenciou aplikovanej klimatológie (ECAC) a Európskou konferenciou o aplikovanej meteorológii (ECAM).

Vzhľadom na rastúcu úlohu v rámci spoločnosti a angažovanosť v nej, ako aj na čoraz viac prepojenú povahu meteorologických a klimatických služieb, bol v spolupráci so všetkými zainteresovanými stranami vyvinutý nový koncept programu konferencie. Tento nový koncept je odvtedy úspešne implementovaný.

Každoročne má konferencia svoju ústrednú tému a koná sa v rôznych mestách Európy. Tento rok sa bude Konferencia EMS konať na Slovensku v dňoch 4. – 8. septembra 2023 v priestoroch Ekonomickej univerzity v Bratislave. Ústrednou témou Konferencie EMS 2023 je Európa a sucho: ***Hydrometeorologické procesy, predpoveď a pripravenosť***.

Za posledných niekoľko desaťročí sa v Európe zvýšila frekvencia a intenzita sucha. Od roku 1976 sa plochy a počet obyvateľov postihnutých suchom zvýšili o 20 %. Nedostatok vody a sucha majú za následok veľké dopady na hospodárstvo a blahobyt ľudí (napríklad poľnohospodárstvo, výroba energie, pitná voda, doprava, životné prostredie). Zároveň, ide sucho ruka v ruke so silnými vlnami horúčav, ktoré sú samy o sebe nebezpečné pre verejné zdravie. Okrem toho, sucho a horúčavy spolu zvyšujú riziko veľkých lesných požiarov, prinášajú ďalšie nebezpečenstvá a zvyšujú znečistenie ovzdušia.

Sucho spúšťa viaceré mechanizmy: nedostatok zrážok, deficit pôdnej vlhkosti alebo znížený prísun vlhkosti z topenia snehu. V dôsledku toho je potrebný multidisciplinárny prístup na pochopenie a predpovedanie sucha a na rozvoj stratégií pripravenosti, adaptácie a zmiernovania následkov. Okrem toho, mnohé rieky a povodia prekračujú hranice krajín, čo si vyžaduje cezhraničnú spoluprácu a opatrenia. Preto je v úmysle konferencie riešiť problémy súvisiace so suchom z viacerých uhlov pohľadu.

Prípravy na konferenciu sú už v plnom prúde, beží aj registrácia na konferenciu, preto, ak máte záujem zúčastniť sa tohto medzinárodného odborného podujatia, kde sa zvykne stretávať viac ako 500 odborníkov, urobte tak čo najskôr, pretože koniec leta sa blíži a s ním aj Konferencia EMS 2023, ktorá už nemôže byť bližšie.

*Paulína Valová
SHMÚ, Bratislava*

INTEREG CENTRAL EUROPE

V rámci projektovej výzvy Intereg Central Europe bola schválená realizácia projektu Central European Alliance for Increasing Climate Change Resilience to Combined Consequences of Drought, Heatwave, and Fire Weather through Regionally-Tuned Forecasting s akronymom Clim4Cast. Projekt bude realizovaný od marca 2023 do februára 2026. Celkový rozpočet projektu je 1 913 954,00 EUR.

Hlavným partnerom projektu je Ústav výskumu globálnej zmeny AV ČR, v.v.i (CzechGlobe) v Brne a ďalšími partnermi sú Masarykova Univerzita v Brne, Technická univerzita vo Viedni, Ústav pôdozvedectva a pestovania rastlín, štátny výskumný ústav, Pulawy, Poľsko (IUNG), Leibnizovo centrum pre výskum poľnohospodárskej krajiny

(ZALF) Nemecko, Slovinská environmentálna agentúra, Štátny hydrometeorologický ústav Zagreb, Chorvátsko a Slovenský hydrometeorologický ústav.

Projekt pokrýva územie Česka, Slovenska, Rakúska, Poľska, Slovinska, Chorvátska a východnú časť Nemecka. Pre toto územie vznikne do roku 2026 on-line mapová aplikácia na ktorej bude zobrazený aktuálny stav a predpoveď rizika vyplývajúca z aktuálnych podmienok a predpovedí počasia na suchu, vlny horúčav a požiarne nebezpečenstvo.

V dôsledku prebiehajúcej zmeny klímy sa v strednej Európe očakáva zvýšenie frekvencie, trvania a intenzity sucha, vln horúčav a požiarneho nebezpečenstva (ďalej súhrnne DHF z angl. drought, heat waves and fire weather). Nedostatok vody a sucho reprezentujú výzvy, ktoré sú už často aspoň čiastočne zahrnuté v právnych rámcoch jednotlivých krajín stredoeurópskeho regiónu, obzvlášť po posledných vlnách sucha. Na druhej strane, vlny horúčav a požiarne nebezpečenstvo zatiaľ neboli implementované do národných legislatív v dostatočnej miere a spolu so suchom neboli implementované do stratégií, ktorých úlohou je zvýšiť odolnosť voči týmto javom. Problematika DHF javov, ktoré priamo ohrozujú človeka aj životné prostredie, si urgentne vyžaduje pozornosť.

Projekt Clim4Cast si kladie za úlohu skokovú zmenu v tejto oblasti, nakoľko cieľom projektu je vytvoriť predpovedný nástroj pre DHF javy, ktorý bude integrovaný do už existujúcich monitorovacích systémov jednotlivých 7 partnerských krajín. Úlohou projektu bude aj odhad miery vplyvu klimatickej zmeny na výskyt a parametre DHF javov. Tieto výsledky budú podkladom pre stratégiu, ktorej úlohou je zvýšiť povedomie o klimatickej zmene a s ňou súvisiacich DHF javov, ako aj osobitný akčný plán navrhujúci vhodný reakčný mechanizmus.

Inovatívnu stránkou projektu Clim4Cast je zdieľanie a spoločné využívanie už existujúcich vedomostí zúčastnených partnerov v oblasti (a) extrémnych prejavov počasia, (b) rôznych komunikačných stratégií a (c) existujúcich sietí predstaviteľov záujmových strán a užívateľov. Ďalšou inováciou je vývoj a implementácia viacdňovej predpovede DHF javov, ktorá momentálne chýba. Výstup projektu bude slúžiť ako systém včasného varovania, ktorý môže byť využívaný rôznymi zainteresovanými subjektmi a môže byť implementovaný do národných právnych rámcov.

Na Slovensku budú o priebehu a výsledkoch projektu informovaní ako pridružení partneri projektu aj Ministerstvo životného prostredia, Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka, Slovenská poľnohospodárska a potravinárska komora a Lesnícka ochranná služba Národného lesníckeho Centra.

*Katarína Mikulová, Livia Labudová
SHMÚ, Bratislava*

PERSONÁLIE

PERSONALS

ZA prof. Ing. FRANTIŠKOM ŠPÁNIKOM, CSc.

Prof. Ing. František Špánik, CSc. dovŕšil tento rok na Svetový meteorologický deň významné životné jubileum - 90 rokov života. Len pár dní po tomto dni prišla nečakaná smutná správa: náš priateľ a kolega sa odobral do večnosti.

Narodil sa 23. marca 1933 v Čelkovej Lehote, okres Považská Bystrica. Po maturite na Gymnázium v Púchove v rokoch 1953 – 1958 pokračoval v štúdiu na Vysokej škole poľnohospodárskej v Nitre v odbore fytotechnika. Ako čerstvý absolvent potom v rokoch 1958 – 1960 pracoval v Oblastnom ústave pre typizáciu a vývoj poľnohospodárskych a lesných stavieb v Bratislave. Od 1. októbra 1960 svoj profesijný život spojil s Vysokou školou poľnohospodárskou v Nitre, kde pôsobil až do odchodu do dôchodku na Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Vedecký rast je spojený aj s Vysokou školou zemедělskou v Prahe, kde absolvoval vedeckú aspirantúru a v roku 1972 obhájil kandidátsku dizertačnú prácu. Vtedy sa už definitívne orientoval na agrometeorológiu. Na Vysokej škole poľnohospodárskej bol menovaný v roku 1981 docentom a v roku 1993 sa stal jedným z prvých profesorov menovaných v novovzniknutej Slovenskej republike.

Vedecko-výskumnú činnosť sústredil na štúdium produkčných procesov poľných a záhradných plodín. Dosiahol viaceré originálne výsledky v riešení aktuálnych problémov bioklimatológie. Agroklimatická rajonizácia Slovenska, teplotná a vlhková zabezpečenosť záhradných a poľných plodín, tvorba a ochrana prírodného prostredia a dôsledky klimatickej zmeny na rastlinnú výrobu boli hlavnými témami jeho výskumných aktivít. Výsledky svojej práce spracoval vo viac ako 250 vedeckých a odborných prácach a vstúpil na vyše 100 domácich a zahraničných konferencií a seminárov. Významný vedecký prínos k rozvoju agrometeorológie predstavujú kolektívne vedecké monografie: Potenciálne úrody základných poľných plodín podľa príkonu fotosynteticky aktívnej radiácie (1987), Klimatické zmeny a ich dopad na poľnohospodárstvo (1997), Aplikovaná agrometeorológia (1997, 1999, 2000), Hydrológia poľnohospodárskej krajiny (1999), Ukazovatele

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

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

Trvalou črtou prof. Špánika bol jeho srdečný vzťah k študentom a doktorandom, ako aj elán v práci. Bol vedúcim viac ako 60 diplomových prác a školiteľom 7 aspirantov a doktorandov. Pre svojich študentov vypracoval takmer 2 desiatky skript a učebných textov. Mal rozhodujúcu zásluhu na vzniku Katedry biometeorológie a hydrológie, Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre, ktorej bol viacero funkčných období vedúcim. Veľkú pozornosť venoval výstavbe a chodu agrometeorologickej stanice, ktorá poskytuje výsledky agrometeorologických a fenologických meraní pre vedecko-výskumnú činnosť pracoviska, ako aj pre širokú verejnosť.

Významná bola tiež spolupráca s vedeckými a riadiacimi inštitúciami doma i v zahraničí. Bol členom ich vedeckých a redakčných rád. Bol dlhoročným členom Česko-Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri ČSAV a tiež zakladajúcim členom Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV. Aktívne sa angažoval tiež v rámci Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV a Slovenskej spoločnosti pre vedy poľnohospodárske, lesnícke a potravinárske pri SAV. Vysokého uznania si zasluhuje jeho obetavá práca vo funkcii podpredsedu a predsedu Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV. Pod jeho vedeckou redakciou vyšlo viac ako 3 desiatky zborníkov a bulletinov a 2 desiatky Štúdií SBKS pri SAV. Bol predsedom organizačného výboru viac ako 2 desiatok úspešných národných i medzinárodných konferencií a seminárov. Hlavne jeho zásluhou sa Slovenská bioklimatologická spoločnosť zaraďovala medzi najaktívnejšie vedecké spoločnosti SAV.

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

Vážený pán profesor, drahý Ferko, človek je dovtedy živý, kým zostane v pamäti, či v srdci aspoň jedného z nás. A to nezmení ani táto smutná udalosť.

Česť Tvojej pamiatke!!!

Bernard Šiška – predseda SBkS SAV

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 milan.onderka@shmu.sk alebo technickej redaktorky na adresu katarina.pukancikova@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 350 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 (milan.onderka@shmu.sk) or the Assistant Editor (katarina.pukancikova@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 350 dpi. Tables must be submitted as editable text.



© Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 2023
ISSN 1335-339X, eISSN 2730-1028